Atomic Energy of Canada Limited

The Crown Corporation as Strategist in an Entrepreneurial, Global-Scale Industry

George Lermer

A study prepared for the
Economic Council of Canada

88-01705/

The **Economic Council of Canada** is an independent advisory body with broad terms of reference to study, advise and report on an extensive range of matters relating to Canada's medium- and long-term economic development. The Council is a Crown corporation consisting of a Chairman, two Directors and not more than twenty-five Members.

The Council as a corporate body bears final responsibility for the contents of the *Annual Review* and of certain other publications which are clearly designated as *Council reports* or *Council statements*. The Council also publishes other material, which is clearly attributed to individual authors rather than to the Council as a whole. These publications fall into four categories: *research studies*, which are concerned with subjects of wide general interest; *technical papers*, which are concerned with technical subjects of interest to specialists in their particular field; *discussion papers*, which report on work in progress or on topics of interest to a specialized reading audience for purposes of professional discussion; and *conference proceedings*. While the Council establishes general policy regarding these four categories, it is the Chairman of the Council who bears final responsibility for the decision to publish them under the imprint of the Council.

The Chairman, in reaching a judgment on the competence and relevance of each author-attributed study or paper, is advised by the two Economic Council Directors. In addition, for authored research studies and technical papers the Chairman and the two Directors weigh the views of expert outside readers who report in confidence on the quality of the work. Publication of an author-attributed study or paper signifies that it is deemed a competent treatment worthy of public consideration, but does not imply endorsement of conclusions or recommendations by either the Chairman or Council Members.

Atomic Energy of Canada Limited

George Lermer

Dr. George Lermer is Director, School of Management at the University of Lethbridge in Lethbridge, Alberta. He was educated at the Massachusetts Institute of Technology and McGill University. Between 1962 and 1974, he taught economics at several Canadian universities, including the University of Waterloo and Concordia University in Montreal. After a two-year stint as a senior economist at the Economic Council of Canada, in 1976 he was appointed Director of the Resources Branch, Bureau of Competition Policy, Consumer and Corporate Affairs Canada, where he remained until 1981. He is the author and editor of several books and articles dealing with risk, financial institutions, trade, industrial organization, and regulation. He has also acted as consultant for government departments, private clients, and the Economic Council of Canada.

GEORGE LERMER

Atomic Energy of Canada Limited
The Crown Corporation as Strategist in an Entrepreneurial, Global-Scale Industry

The findings of this study are the personal responsibility of the author and, as such, have not been endorsed by the Members of the Economic Council of Canada.

©Minister of Supply and Services Canada 1987

Available in Canada through

Associated Bookstores
and other booksellers

or by mail from

Canadian Government Publishing Centre
Supply and Services Canada
Ottawa, Canada K1A 0S9

Catalogue No. EC22-145/1987E	Canada: $8.95
ISBN 0-660-12553-6	Other Countries: $10.75

Price subject to change without notice

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording or otherwise, without the prior written permission of the Publishing Services, Canadian Government Publishing Centre, Ottawa, Canada KIA 0S9.

Cette étude est également disponible en français sous to titre : *L'Énergie atomique du Canada, Limitée – Les stratégies d'une société d'État au sein d'un marché mondial oligopolistique*.

Contents

Foreword ix

Preface xi

1 Introduction 1

2 Rationales for Undertaking this Case Study 3
- Objectives of this Study 3
- Popularity of Government Intervention 3
- Assessments of CANDU's Success 4
- Case Studies or Theory in Public-Policy Analysis? 5

3 Private vs. Public Enterprise 7
- The Onus of Proof 7
- Section A: Theoretical Considerations 7
  - The Separation of Management from Ownership 7
  - Four Social Mechanisms that Modify Agency Costs 8
  - Political Constraints 9
  - Measuring Management Performance in Complex Product Markets 9
  - Managerial and Entrepreneurial Industries 10
  - The Nuclear Industry Is Entrepreneurial 11
  - The Merger Market 12
  - Internal Financial Markets 12
  - Efficiency of the Political Process 13
- Section B: Political Considerations 14
  - Public vs. Private Influences in Foreign Nuclear Reactor Development Programs 14
  - How and Why the Canadian Nuclear Program Became a Public Project 15
  - The Influence of Canadian Nationalism 15
  - Determining AECL's Mission – Was it Intended for AECL to Become a Government Research Laboratory or a Commercial Organization? 16
  - The Growing Role for Commercial Exploitation of CANDU 19

4 A Framework for Organizational Analysis 21
- Business Strategy 21
- Strategic Management 21
  - Capital Markets 21
  - Product Markets 22
  - The Organization's Constituency 22
  - Motivating Managers 22

AECL and the Capital Market 23
Federal Government Financial Support 23
Displacement of Power to Government 25
AECL as an Organization 25
Managing Technologically Complex Systems 25
The Neglect of Heavy Water 26
Changes at AECL Since 1978 26
The Product Market 28
Diversification 28
Integration 28
Product-Market Strategy 28
Strategic Roles – Cost Leadership; Differentiation; Focus 29
The U.S. and French Industries 29
Origins of the U.S. Industry 29
The Decline of Demand for Nuclear Reactors 32
The Influence of the U.S. Program Abroad 32
French Success or Failure 33
The Canadian Product-Market Strategy for the CANDU 33
Little Emphasis on Export Marketing 33
Failure to Sell in the Booming U.S. Market 36
Heavy Water in Canada's Marketing Failures 36
Delays in Completing a Demonstration Plant of Commercial Scale 37
Ontario Hydro's Influence 38
Summary 38
The Nuclear Reactor Business: Is it Necessarily a Global Industry? 39
The Experience Curve 39
Reputation and Credibility 39
Differentiation of the CANDU 40
Focus on Ontario 41
Costs of Expanding Into the U.S. Market 41
Ontario's Political Interests 41

5 Business Strategy in a Declining Market 43
Dimensions of the Declining Demand for Nuclear Reactors 43
Competing Reactors 46
Coal vs. Uranium: Is Nuclear Power Competitive? 47
Ontario Hydro's Analysis 47
OECD's Analysis 47
A U.S. Analysis 48
Real Rates of Interest Used in Ontario Hydro's Analyses 49
Energy, Mines and Resources Evaluations 49

6 Cost/Benefit Analysis: Past and Future 51
Estimated R&D Costs of the CANDU System 51
Benefits and Costs to Ontario Hydro of CANDU Compared to Coal 53
Benefits and Costs to Ontario Hydro of CANDU Over Light-Water Reactors 54
CANDU's Future 55

CANDU in the U.S. Market 56
Financial Implications of Sustaining the CANDU Industry 56

7 Conclusion 59

Notes 61

List of Tables and Chart 63

Bibliography 65

Foreword

This study was undertaken as a part of the Council's project on government enterprise. The overall aim of this project – the results of which were published in late 1986 under the title *Minding the Public's Business* – has been to improve our understanding of federally and provincially owned and controlled entities which operate at arm's length from government and have important commercial functions. The project has attempted, more specifically, to address two specific questions: What is the appropriate role of government enterprise as one of a number of instruments of public policy? And, second, how should the apparatus of control within government be structured so as to realize the full potential of this instrument?

The research undertaken for the project has included both the examination of general questions pertaining to government ownership and the investigation of the performance of particular firms and sectors. This monograph by George Lermer is the result of one of the case studies prepared for the project. The problems besetting Canada's nuclear reactor industry have been the subject of much discussion over the years. In this study, Professor Lermer provides an assessment of the costs and benefits of the CANDU system, and looks more generally at the use of a public enterprise for the development and commercialization of a complex technology. Because the development of CANDU was necessarily a long and costly process and one that entailed an especially high degree of commercial risk, it is the type of venture for which one might expect some government involvement or support. Atomic Energy of Canada Limited's experience can tell us something about the advantages and the pitfalls of such involvement when the government's response takes the form of a public enterprise.

George Lermer has written widely on economic and Canadian public policy issues. He is presently Director of the School of Management at the University of Lethbridge.

Judith Maxwell
Chairman

Preface

Too many persons contributed to the writing of this study to acknowledge them all here. Nor am I certain everyone I spoke to would like to be identified with my work because my conclusions are pessimistic for the future of Canada's nuclear reactor industry. Stated more accurately, the study is pessimistic about the prospects for the profitable export of the CANDU nuclear reactor technology. This is partly because the Crown corporation form of enterprise is found to be a weak organizational structure for commercializing a new technology in a highly competitive worldwide market. In the past, political constraints and political outlooks influenced the style of organization that AECL became, and in my judgement this led AECL injudiciously to focus on development of the CANDU for the Canadian market alone. It failed to grasp the importance of establishing credibility as a commercial success in international markets, and to overcome potential foreign buyers' concerns about the key weaknesses in the CANDU system. Despite the reorganization of AECL which began in 1978, there is little reason to expect that AECL will today be able to reverse the commercial fortunes of the CANDU reactor system.

This study provides a new cost/benefit analysis in order to establish a measure of AECL's success or failure, and to provide a basis for considering further public investments to sustain the industry. At this time, despite the many disappointments in the development of the CANDU system, it appears that in Ontario the CANDU is a cheaper option than coal. Ontario saves about $800/kW (1981 dollars) by adopting the CANDU instead of coal technology, while the federal government has invested through R&D support for AECL about an equal amount, which as it has turned out has been almost exclusively for the benefit of Ontario electricity users. But coal may not have been the best alternative to nuclear-generated power using the CANDU system. Ontario Hydro might have opted for a light-water reactor instead of the CANDU. It is estimated that Ontario saves at most a modest amount, just $41/kW (1981 dollars) by adopting the CANDU instead of a U.S. designed light-water reactor. So the CANDU is for Ontario a good technology for expanding its generating capacity as long as the province fails to take into account its citizen's share of the federal contribution. The federal government's sunk costs are about $12 billion (1981 dollars) for R&D support or about $800/kW (1981 dollars), and it is doubtful if these costs will ever be recovered.

Politicians in Ontario and Canada found the CANDU system an irresistible project. It promised simultaneously to make use of domestic resources and displace imports, be profitable and give Canada a high prestige hi-tech project. Yet it was not inevitable that the project be undertaken by a public sector firm. The study finds numerous weaknesses in the public sector mode for commercializing the CANDU. Unfortunately, it has little to say about what would comprise the optimal organizational structure.

There is much further work needed concerning the development of managerial structures to govern major technological projects and to commercialize them. Though major firms do this all the time, there are many inexplicable successes and equally strange failures. I

was reminded on writing this foreward about Sayles and Chandler's book (1971) on the National Aeronautic and Space Administration (NASA), one organization that today is tattered if not shattered. But the Sayles and Chandler book was one of the few I could find that addressed the enormous problems of managing complex technological projects, let alone commercializing them. I was reminded also of Oliver Williamson's (1985) assessment that we know little about how bureaucratic structures cope with transactions costs. He wrote that, "By comparison with the market failure literature, the literature on bureaucratic failure is relatively underdeveloped" (p. 149). Moreover, Williamson concludes that, "the study of economic organization in a regime of rapid innovation poses much more difficult issues" (p. 143) and he hopes that studies of extreme cases (possibly like the CANDU developed by AECL) will provide valuable data for scholars striving to enlarge the theory of optimal organizational forms. This case study is offered in response to Williamson's call, but at the same time it provides a new look at certain specific questions of Canadian nuclear reactor development policy that are rarely off Ottawa's agenda.

Ron Hirshhorn and Abe Tarasofsky from the Economic Council initiated this study and provided valuable guidance along the way. Comments on an earlier draft by Don McFetridge, Graham Smith and Don Meneley are much appreciated even if they find that their advice led me to make only minor changes in the final version. Concerns of three anonymous reviewers have influenced this study especially in terms of its organization and presentation. Senior personnel at Ontario Hydro and the Atomic Energy of Canada Limited were helpful, but they have not provided me with a critique of the study and for obvious reasons they may be less than enthusiastic supporters of my findings. Helpful too were personnel concerned with nuclear issues at the Department of Energy, Mines and Resources. The typing of this study was largely done by Gail Kembel, and it is a pleasure to acknowledge her efforts to meet my frequent last minute deadlines. It is a pleasure also to thank Toby Lermer and Jill Sinkewich who assisted with collecting the many sources the study relies upon for data. Finally, I would like to recognize the Council's editorial staff for sharpening up considerably the prose style of an earlier draft.

Atomic Energy of Canada Limited

1 Introduction

The Atomic Energy of Canada Limited (AECL), is the organization established by the Canadian government primarily for the purpose of commercializing the Canada Deuterium and Uranium (CANDU) nuclear reactor system. In order to evaluate the performance of AECL, this study marshalls three methodologies – organization theory, business strategy and cost/benefit analysis. The first methodology used, organization theory, asks how organizations are structured along various relevant dimensions in order to reduce the transactions as well as the material costs of production. The theory is used here to identify features of the private organization that emerge as means of reducing costs, and to examine by contrast the organizational characteristics of AECL. The second approach, the business strategy literature, offers the manager advice about how to improve his firm's financial performance. The advice is based on various paradigms and correlates of success that have emerged from numerous case studies of business organizations. The business strategy approach is used here to ask if AECL has adopted the advice that flows from strategic analysis, and if not why it has failed to do so. Finally, cost/benefit analysis provides calculations of the expected net benefits of projects. It is used here to examine if Canadian taxpayers earned an adequate return on their past investments in the development of the CANDU system, and if further investments are advisable. Though not central to the purposes of this study, without a cost/benefit analysis we would be unable to fix quantitative measures of AECL's degree of success or failure.

The study proceeds in Chapter 2 to provide rationales for an additional case study of AECL. This case study of AECL is presented as a means of assessing the merits of the arguments that the Crown corporation may be an effective instrument for fostering dynamic comparative advantage in high-technology industries. The chapter elaborates how popular their public policy is in Canada, and also how often the CANDU project's performance is used to support the case for greater government investments in high-technology industries.

In Chapter 3, the writer places in context the case study to follow by outlining both theoretical and political factors that affect the relative efficiency of public as compared with private firms. The theoretical section of the chapter sets out straightforwardly what organization theory has to say about the choice between a public and a private firm. The final section of the chapter examines how Canada came to commercialize the CANDU system in the public sector.

In Chapter 4, there is first a brief review of concepts of strategic management as they are to be applied to AECL. This is followed by sections that outline how AECL's capacity to set its own strategy is linked to first its capital market, second its internal constituencies and third its product market. The latter sections are followed by one that explores how the U.S. and French nuclear industries developed well articulated strategies. This section is a prelude to the final sections of the chapter which examine the unsuccessful Canadian business strategy for commercializing the CANDU. AECL first focussed on the domestic market, neglecting the export market especially in developed countries. AECL's strategy was to focus on Ontario, and in third world markets to stress how the CANDU differed from the competitors' products.

AECL failed to implement a successful strategy during a period of expanding demand for nuclear reactors. Today, demand is declining. Strategy formulation is often more difficult when demand is declining. This is the subject of Chapter 5. The chapter first examines the extent to which demand for nuclear reactors has declined and reviews forecasts for future markets. It then considers the two major competitors for the CANDU – first other nuclear reactor designs and second the cost of coal-generated electricity.

In Chapter 6 we present new cost/benefit calculations for the CANDU nuclear reactor system, which lead to the conclusion that the CANDU is not a financial success and it is unlikely that CANDU will repay the additional investments still needed to give it some hope for commercial success in the future.

The conclusions of the study are collected and presented in the final chapter.

2 Rationales for Undertaking this Case Study

Objectives of this Study

This case study examines the development of the Canada Deuterium and Uranium (CANDU) nuclear reactor system by Atomic Energy of Canada Limited. (AECL). Though much has been written about AECL, CANDU, and the nuclear reactor business, whether Canada's efforts to commercialize the CANDU system is a success or failure remains controversial. Recently, one writer concluded that "CANDU may not have reached an economic break-even point yet, nor even provided a net social benefit contribution." (Palda 1984, p. 101). This conclusion stands in sharp contrast to that of many other studies affirming CANDU's success. This study, among other things, contributes an additional and detailed cost calculation of the federal government's involvement in the CANDU project.

A cost/benefit analysis of a controversial and giant corporation like AECL needs little justification. Curiosity alone about such an organization, with assets well above $1 billion is sufficient reason for the undertaking. Trebilcock and Prichard have reported that in 1978 AECL was larger – measured on the basis of book value of assets – than Air Canada, the Canadian Broadcasting Corporation, the Federal Business Development Bank, or the St. Lawrence Seaway Authority (Prichard [ed.], 1983, pp. 1, 95). That year, AECL's 1.5 billion dollars' worth of assets represented over 5 per cent of the assets of all federal government Crown corporations, excluding the Bank of Canada. Palda described the CANDU nuclear reactor project as "the grand-daddy of high-technology ventures in Canada ... and it very likely still represents the single, most expensive, active hi-tech project around" (1984, p. 100).

While a cost/benefit analysis in itself is valuable, this study has a broader purpose. Its main purpose is to adduce from this one example some general lessons that might be applicable to an important public policy issue. The general issue is the potential for a Crown corporation type of corporate organization to act as an instrument for commercializing new technologies, especially when the new technologies must be commercialized in an international market, in competition with other countries vying to launch their own firms. This study is, therefore, especially timely because today the Canadian government is actively considering expanding its support for high-technology industries.

Several official councils, commissions, and task forces have been studying and/or advocating increased government support for high-technology industries. The Science Council of Canada (1979), which includes among its members several senior industrial leaders, is identified as an active proponent of government support for high-technology industries. The Royal Commission on the Economic Union and Development Prospects for Canada (the Macdonald Commission 1985) has devoted considerable attention to researching this issue. The importance of the issue is reflected in the appointment by the federal government of a Task Force on Federal Policies and Programs for Technology Development (1984), which recently published a report. In *A New Direction for Canada* (Canada, Dept. of Finance 1984, p. 25), the federal government placed R&D, innovation, and technology diffusion at the top of its list of economic challenges to be addressed during the government's present term of office.

Popularity of Government Intervention

The federal government's orientation towards "laissez-faire" in the high-technology field confirms Marsha Chandler's thesis (Prichard [ed.], 1983) that Conservative governments are as prone as left-wing regimes to sponsor Crown corporations in certain fields. She pointed out with regard to provincial Crown corporations, that

> to promote rather than control is a policy tool well within the ideological ken of nonsocialists. Based on the shared interest of the state and the private sector, it involves the use of the state to further those interests (Prichard [ed.], 1983, p. 215).

Chandler noted, further, that there are four fields in which Conservative governments are prone to invest through Crown corporations. The four are: industrial development; research and development; power; and transportation. Since nuclear reactor development fits into three of the above four categories, it is no surprise that AECL and the CANDU reactor program is well positioned to enjoy both federal and provincial support regardless of the ideological predisposition of the governments concerned. Chandler's thesis is further confirmed in the

Alberta government's recently published White Paper (Alberta 1984). In it, the most conservative government in Canada approves policies that focus on high-technology industries. In a tone that borrows much from U.S. literature that is pro-interventionist about industrial policy, the White Paper advocates government identifying winners in growth sectors and subsidizing specific firms. Chandler has also concluded that Crown corporations are an attractive political option for Canadian governments.

Nor is academic opinion unanimously hostile to an expansion of government intervention on behalf of selected high-technology projects. In a recent study for the Macdonald Commission, Richard Harris also advocated government intervention to foster high-technology industry. He argued that

> the development of new export markets by entry of domestic firms into a world concentrated industry is bound to be difficult ... policy to deal with the transitional difficulty should be an important concern for Canada (Harris 1984, p. 8).

Harris, otherwise noted for his studies documenting the advantages for Canada of free-trade policies, did not explicitly identify Crown corporations as the vehicle for fostering government support for Canadian high-technology industries. But others are prepared to advocate reliance upon Crown corporations as one major thrust in Canada's efforts to build high-technology industries.

In a brief submitted to the Wright Task Force, J.A.L. Robertson (1984), on behalf of Atomic Energy of Canada Limited Research Company, argued that

> The success of the AECL model for technology development can be judged to the extent to which we have achieved our objectives.

After judging the CANDU to be a "world leader in performance, economy, and resource conservation," Robertson argued that

> On the abstract level, perhaps our single most important contribution to today's policy discussions is the demonstration that Canada can produce world class products in areas of high technology. In this we align ourselves with those responsible for Canadian communications satellites, Telidon, the Canadarm, and short take-off and landing [STOL] aircraft (p. 2).

Robertson concluded that

> While the Canadian government operates several industry support programs to foster technology development; for example, DEPP, EDP, IRAP, and PILP, the use of Crown corporations for this purpose is also of *proven effectiveness* (p. 14).

Robertson's confidence cannot be dismissed as mere special pleading on behalf of AECL. Others have attributed to the CANDU project unqualified high marks for being a high-technology success story.

Assessments of CANDU's Success

Bruce Doern and Gordon Sims have described CANDU as "one of Canada's few internationally recognized technological successes" (1980, p. 49).

In 1978, James Gardner and Fred Belaire (Canada, EMR 1978) reported that

> the CANDU reactor has unquestionably demonstrated its technological efficiency and economic practicality (p. 134).

The Science Council of Canada (1979)

> has advocated the development of this (nuclear) energy technology for some time.... Canada must continue to play the lead role in the R, R&D necessary for further development of CANDU for at least the next two or three decades since practically all other nations have focused their attention on other reactor systems.... the technical, environmental and economic viability of the CANDU reactor system, using natural uranium, has been demonstrated by some 20 reactor-years of experience (p. 46).

After an extensive review of nuclear policy, Energy, Mines and Resources concluded that

> based on the *clear advantages* of the CANDU in generating electricity to meet domestic load growth (particularly east of Manitoba) orders will likely be placed in the latter part of the 1980s for domestic reactors to come on stream in the 1990s. Second, some reactor export markets appear promising ... and ... there appear to be attractive opportunities to prebuild nuclear reactors in Canada to export electricity to U.S. markets (Canada, EMR 1981*b*, p. 2).

Johnson (see McFetridge 1985) found that the CANDU reactor system enjoys a marked net cost advantage over light-water reactors. Her estimates suggest that with existing capacity alone the cost savings resulting from the CANDU system is in excess of CANDU's R&D costs. Richard Zuker and Glenn Jenkins (1984) evaluated the cost of additional hydro and coal electrical generating in Quebec

and Ontario with nuclear plants. They did not distinguish CANDU from other nuclear options, but there can be little doubt that Zuker and Jenkins had in mind the CANDU system when they wrote about nuclear power development. Implicitly, therefore, they judged the CANDU a success, at least in relation to the cost of using coal for generating electricity.

Hydro-Québec, a utility that has been lukewarm at best to nuclear power, uses

> an 850 megawatt CANDU-type nuclear power plant, using natural uranium as fuel and heavy water as the coolant and moderator ... as the reference source in evaluating the economic feasibility of Quebec's hydro-electric potential (Hydro-Québec 1980, p. 75).

For Hydro-Québec in 1980, the CANDU – and not other nuclear alternatives or coal – was assumed to be the next best alternative to hydro as good sites for hydro development disappeared.

Ontario Hydro is pleased with its large investments in CANDU reactors. In 1982, Sligl summarized Ontario Hydro's findings as follows:

> 1. The accumulated discounted costs of nuclear generation, although initially higher, are lower than coal-fueled generation after two or three years.
>
> 2. Fuel costs provide the major contribution to the total lifetime costs for coal-fueled stations, whereas capital costs are the major item for the nuclear station.
>
> 3. The total unit cost of electricity from the nuclear station is less than the fuel cost alone for the coal-fueled station.
>
> 4. The break-even lifetime capacity factor between nuclear and coal-fueled generation is projected to be 5 per cent.
>
> 5. Large variations of various cost components are reduced before the cost advantage of nuclear generation is lost.
>
> 6. The total unit energy cost remains approximately constant throughout the station life for nuclear generation, while that for the coal-fueled station increases significantly due to escalating fuel costs (p. 20).

Milan Nastich, the President of Ontario Hydro, reported that

> we're continually continuing to build nuclear plants because we want to displace increasingly expensive fossil-fueled plants that still supply part of the basic electricity demand ... When we've finished our current building program, the province's basic electricity demand will be supplied solely by nuclear and hydro-electric generating plants.

And the proof of the remarkable success of the CANDU is that

> most U.S. utilities could buy nuclear generated electricity from Ontario for less than they could produce it for themselves from *any* fuel they have, including uranium (1981, pp. 33-36).

Nastich concluded that Ontario's nuclear power program represents "sound planning and foresight" that others might do well to emulate.

Case Studies or Theory in Public-Policy Analysis?

The writer of this study has quoted the above authorities at considerable length because it is important to appreciate the weight of opinion that gives the CANDU system not just passing marks but excellent grades. No wonder, then, that it is frequently held up as an example of policy effectiveness. Of course, the mere observation that AECL may be a success is not a sufficent basis on which to conclude that the Crown corporation is an efficient organizational form for fostering internationally competitive Canadian industries in high-technology fields. Public ownership ought not to be condemned simply because one public firm fails; nor should public ownership be advocated simply because of a single success. Case studies alone cannot be decisive in choosing between organizational models. Fortunately, there have been significant advances in the theoretical literature linking ownership and corporate structure to the effective performance of the firm. This literature has recently been reviewed independently first by Borcherding (Prichard [ed.], 1983) and later by McFetridge (1985) for the particular case of the Crown corporation. Hirshhorn (1984) applied the insights from the literature on corporate structure to government enterprises. Baldwin (1984) analysed the conditions under which public enterprise dominates regulation as an instrument of government policy. Unfortunately, the theoretical literature has not yet reached the point where a dominant paradigm governs the field. It is, therefore, unable to persuade policy analysts to take one course of action over another. Or having first decided upon a policy objective, theory fails to direct the analyst to the most efficient policy instrument. Borcherding pointed out that

> too many possibilities are being explained [by the theory of public supply arrangements] to be of great theoretical use so far (Prichard [ed.], 1983, p. 176).

The still tentative nature of conclusions from organizational theory about the choice between different instruments for the delivery of public policy makes every additional case study of a Crown corporation an important source of data for theorists. Borcherding stresses that a theory on public-sector supply should successfully differentiate those state activities that generate net wealth from others that transfer it. The latter are prone to be economically expensive, even if perceived to be an efficient mechanism for attaining political objectives. Until this distinction is well understood, Borcherding concluded that the proper role for Crown corporations will remain mired in ideologically intense speculations rather than rational and testable guidelines for policy (Prichard [ed.], 1983, p. 176).

Apart from the organizational theory that Borcherding reviewed for its applicability to the issue of public supply, there exists an extensive literature on the linkage between business strategy and corporate structure. Some writers, most notably Roderick White, writing from the point of view of the business strategy tradition, have looked at the strengths and weaknesses of AECL and other Canadian Crown corporations. The business strategy literature uses a comparative approach to evaluating a firm's performance. The method involves comparing a firm's conduct, performance, and organization with a standard that is thought to reflect "best practice." To establish a best-practice standard, the field collects those characteristics and features of business policy and organizational structure that are highly correlated with success.

From this perspective it is natural to ask whether or not AECL has performed well by those standards for managerial excellence recognized in the private sector; this study asks and answers just such questions.

In conclusion, it is suggested above that a case study like this one plays a dual role. In the absence of a dominant paradigm to guide public-policy controversies, an author must be conscious that his or her work will be used to advocate certain public policies. The more compelling the illustration of marked success or failure, the more useful the study for this advocacy function. Since all interest groups will search for those illustrations that favour their cause, we must rely upon an adversarial system to adjudicate between case studies. The second role is to provide more material for the theorist's grist mill, in the expectation that a consensus on an appropriate framework will emerge for both public-policy debates and analysis. By no stretch of the imagination, however, is a case study a neutral report of historical evidence. The case writer, therefore, owes it to readers of his case report to be as explicit as possible on two points – his own understanding of the underlying theory and his ideological bent. In the following section, the author of this study presents his own views contrasting them with those of others.

3 Private vs. Public Enterprise

The Onus of Proof

In this section the writer outlines why he believes that when a Crown corporation is being evaluated as an instrument for delivering commercial and political services, the onus for proving the affirmative case must rest with the proponents of the Crown corporation. The presumption should be, in every case, that the private corporate form is the more efficient instrument. The advocate for the Crown corporation must articulate the political objectives, consider the efficiency of alternative policy instruments, and forecast the loss in commercial efficiency that is acceptable in order to pay for delivering the identified political services.

The basis for this strong assertion is that private corporations enjoy virtually every organizational option available to the Crown corporation. It follows that a private corporation will be at least as effective an organizational form as a Crown corporation whenever effectiveness is measured by the firm's ability to maximize its value. What is conceded by some policy analysts is that the Crown corporation may be an efficient organizational form when the government is delivering a political service jointly with a commercial service. By attaching the political service to a commercial organization, the government may be able to reduce the cost of delivery below the level that would be incurred through an alternative policy instrument (Trebilcock et al. 1982).

Section A: Theoretical Considerations

Some theorists would argue that the deficiencies of the social mechanisms that induce efficient performance in privately-owned firms make the comparison between public and private firms irrelevant. According to this view, theory is silent on the choice between the public and the private firm. Somewhat less emphatically, others argue that though costs are likely to be higher in the public sector, they would be only slightly higher. For this group, then, the choice rests solely on the benefit of combining into one corporate structure the supply of public and commerical goods and services.

The Separation of Management from Ownership

Large commercially-oriented organizations in the private sector encompass numerous constituencies, both inside and outside the firm. Performance contracts, both implicit and explicit, bind the interests of all constituencies. Constituents include the firm's shareholders, its senior managers, its customers and suppliers, its creditors, its work force, as well as the communities within which the firm operates. Among the multiplicity of contractual relationships that bind those within and outside the firm, one that has received a great deal of attention is the relationship between owners and senior managers. This contractual arrangement is characterized by an agency relationship. The owner is the principal; the manager, his agent. Professional managers' self-interests may well differ from those of the owners. Alchian and Demsetz (1972) stressed that managers may shirk their duties towards shareholders in a variety of ways that may be difficult for owners to identify and correct. The same conflict was graphically described many years earlier by among others Berle & Means (1982).

For the latter group of authors, the consequences of the separation between ownership and management invited correction by either government ownership or regulation. For the former, government intervention did nothing to alleviate the agency problem, which might well be aggravated under government control. The costs associated with the agency problem are derived from two fundamental features of social organization – bounded rationality and opportunism – that exist both inside and outside government.

"Bounded rationality" refers to the limited capacity of humans to acquire, interpret, and retain information, which in turn gives rise to information asymmetries among persons, even in the same organization. "Opportunism" captures a wide range of behaviour, including distorting information, misrepresenting earlier agreements and understandings, plain bad faith, and honestly misinterpreting events and understandings. Bounded rationality and opportunism create additional costs for the parties seeking to contract future performances. It is inherently difficult to determine a contract that is enforceable in all future circumstances. Evidently, it is especially costly when

parties to the contracting process withhold specialized information or distort the information they choose to communicate. The latter behaviour is called ex ante opportunism because it is aimed at influencing the contract itself. Opportunism extends also to ex post behaviour, which makes costly the monitoring and enforcement of contracts during the life of the contract. Since bounded rationality and opportunism are endemic to human society, the introduction of government may add to rather than detract from participants' opportunities to hide and distort information. For Michael Jensen and William Meckling, for instance, the governing structure of the modern corporation is a response to the costs that flow from the "agency" nature of the relationship between owners and managers (Jensen and Smith Jr. [eds.], 1984, pp. 78-133). The structure of the firm adapts in order to reduce agency costs. Adaptation will not enable the firm to eliminate the costs, but flexibility in contracting at the level of the capital market in management contracts and in the ownership structure of the firm leads progressively to the reduction of agency costs.

The "agency" issue is only one of many contracting issues that lead to transaction costs being incurred during the course of co-ordinating the activities of the firm. It is pivotal because senior managers are thought to have the means of controlling internally generated transaction costs. They have access to information and the authority to govern internal contract performance at reasonable cost through bureaucratic methods. The efficiency of hierarchical employer-employee relations will vary from circumstance to circumstance. Nonetheless, there have been developed numerous and sophisticated systems of job description, job evaluation, and performance measurement. Senior managers generally retain the right to reassign employees as circumstances alter. By contrast, senior managers, especially when ownership is dispersed, will have considerable freedom to select strategies for the firm, to invest and divest, and to alter the risk class of the firm. Thus, the authority to act is vested in just those persons with access to detailed information that is not readily available to the shareholders. It is certainly an oversimplification to describe bureaucratic control systems as perfectly efficient; but they are reasonably efficient mechanisms when one contrasts them with the potential for opportunism that pollutes contractual arrangements between shareholders and senior management.

From the simple analysis described above, it is clear that if the objective of the enterprise is to maximize the long-run economic return to the shareholders (equivalent to maximizing the value of the firm), a Crown corporation has few, if any, advantages over a private corporation. The private firm is free to adopt any bureaucratic technique that is available to the government enterprise. It also has access to capital from a financial market that permits creditors and owners of the firm to diversify their portfolios so that there is little additional risk reduction achieved through forcing taxpayers to own the government enterprise.

In the private sector, the ownership structure will be influenced by distinct pressures that operate in conflict with one another. On the one hand, shareholders and creditors will seek to reduce their risk by diversifying their holdings over many firms; on the other hand, diversification carried too far raises costs, and it exposes the investor to exploitation by managers. Managers will themselves wish to signal to potential investors that they are to be trusted. By so doing, they will be able to reduce the cost to themselves of the capital they raise on the market. But signaling may be costly, and credibility difficult to convey. Put simply, it is difficult for the manager to bond himself in such circumstances. For this reason, managers – or, more accurately, management teams – may find it economic to absorb the risk of underdiversified ownership and control the firm they are managing. For this reason, too, we observe in the world firms that are closely held and other firms in which ownership is widely dispersed.

We expect that ownership will be widespread for those firms when managerial performance can be readily monitored and supervised at low cost. In this case, owners and managers have little incentive to remain underdiversified. When such supervision is costly and expensive, however, diversified shareholders are exposed to a free-rider problem. All owners would share in the benefit of monitoring the managers, but each individual shareholder may rely on someone else to do the monitoring. Since information gathering, monitoring, and the supervising of managers is largely a fixed cost, owning a larger share of the firm reduces the per-unit cost of the task. Consequently, the more difficult it is to measure managerial performance, the more likely a corporation is to be closely held.

Four Social Mechanisms that Modify Agency Costs

Other social mechanisms modify the agency cost for the private firm. These include the market for managers, the product market, the takeover market, and the financial market. The market for managers is the arena in which individual managers compete against each other for higher compensation, advancement, power, and opportunities to build marketable human capital. When the product market is competitive and the firm is inefficient, the market swiftly weeds out the inefficient firms via failure. The takeover market is the arena in which teams of managers,

often managing other firms, compete for the control of an organization by acquiring sufficient voting shares of the firm they believe they can run more profitably. Finally, the financial market allows investors and creditors to exit – that is, to disinvest – thereby signaling dissatisfaction with the firm's performance and prospects. This action increases the cost of capital to the firm, thereby reducing the incumbent management's opportunities to invest and making them vulnerable to a takeover by a management team enjoying a lower cost of capital.

The public sector shares with the private sector a market for managers. But in the public sector, managers are unable to take an equity position in the firm. Furthermore, management contracts have traditionally been limited by public-sector compensation guidelines stipulated by a bureaucratic model applicable to non-commercial organizations. The product market is thought to discipline both private and public corporations similarly; but, here, differences in the speed and effectiveness of the constraint will depend upon a variety of market characteristics. In the public sector, the takeover market is virtually non-existent, and the role of the financial market as an external constraint is muted. The cost of capital is what the government wishes it to be, and it is impossible to signal investor dissatisfaction in the stock market. The political pressure favouring the "privatization" of Crown corporations may act as a weak substitute for the takeover market in the private sector, but in the public case it is often the weak sisters that are retained in the public fold and the strong firms sold off. Nonetheless, one can imagine that the prospect of being privatized might serve to motivate a management team towards excellence in the expectation of being far better rewarded as managers of a private firm than of a public one.

Political Constraints

Public-sector firms are also controlled by a political marketplace. Politicians influence its direction and constrain the freedom of its managers, and politicians respond to the influence of "voice" in the political marketplace. Evidence on the effectiveness of mechanisms for reducing the agency costs of AECL will be presented in the context of the case study that follows in subsequent chapters. In the concluding section of this chapter evidence is gathered together and evaluated relative to the principles established in the theoretical literature. The latter is briefly reviewed below as it applies to AECL; and for a more complete review of the general literature, the reader is invited to consult Borcherding in Prichard ([ed.], 1983); McFetridge (1985); Hirshhorn (1984); Jensen and Smith, Jr. ([eds.], 1984); and Jensen and Zimmerman ([eds.], 1985).

The product market in which AECL operates makes it difficult to monitor the manager's performance. Research is inherently difficult to manage, as noted in Jauch (1983). But it is not only because AECL is a research company that its performance is difficult to evaluate; a more fundamental problem is that performance can only be judged in the long term by the success that AECL enjoys in profitably selling nuclear reactors in competition with its rivals. There is a long delay between the initiation of such a project and the time that a definitive evaluation of performance can be confidently made. The stages between conception and completion include research, demonstration, sale, construction, and time to gather operating experience. Even after decades, it is virtually impossible to separate ex ante efficient decision making from ex post efficiency. Success or failure is unavoidably dependent upon unanticipated shifts in the price of alternative sources of energy, in technological change, and in such uncontrollables as the rate of inflation and interest rates.

The nature of the nuclear reactor industry makes it especially difficult to decide upon its success or failure even today, 33 years after the incorporation of AECL. But that uncertainty about AECL's performance on an ex post basis even today is not sufficient reason for failing to evaluate the merits of the organizational form adopted by the government. The same factors that make the present task difficult for evaluators of AECL's performance also made the task insurmountable for AECL's political masters throughout the life of the project.

Measuring Management Performance in Complex Product Markets

The more complex the market in which the firm operates, the more difficult it is to measure the performance of the unit and the more difficult still to relate that performance to managerial behaviour. When success or failure is, at best, known in the long run, a modicum of ingenuity can rationalize virtually every temporary setback. Information asymmetries favour the managers over the owners and leave an open field for self-interested, opportunistic behaviour. In such markets the potential for the managerial market to reduce agency costs in private firms is sufficiently problematic. Does this mean that the public firm is just as good a choice for reducing agency costs? Wintrobe (1984) believes so. In his view, politicians have as much incentive at least to eliminate waste as do diversified shareholders of a private firm, and, possibly, more so. Simply put, Wintrobe argues that by eliminating waste, politicians free additional resources to deliver political services from which they can benefit personally through success in the political arena. He

argues that the political market is just as efficient a mechanism as is the private market for controlling agency costs. This position is in dispute. The political market suffers from a double agency problem in that both politicians and managers may have opportunities to behave opportunistically at the expense of the ultimate owners – the taxpayers and the consumers of the commercial service supplied. Since individual politicians have short-time horizons, they may be free to realize immediate political rewards and postpone the consequences of their opportunistic behaviour to later generations of politicians. Evidently, when success or failure is unknowable, except in the long run, opportunities will abound for politicians to consume benefits in the present and transfer the political costs to the future.

Only when the product market is such that bureaucratic mechanisms of control are efficient is Wintrobe's argument at all convincing. For that reason, some authors – for instance, Borins and Boothman (1984) – emphasize the qualities of the product market when evaluating how effectively the political process can control the performance of managers of public-sector firms. The argument is simply that managers operating in a competitive market will not be able to earn a surplus to be allocated either to political uses or to managerial perks or inefficiencies. Borcherding made a similar point:

> As such they [Crown corporations] are attuned to the market as they are to politics, and, given competitive pressures, often differ little from counterpart private firms in their behaviour (Prichard [ed.], 1983, p. 131).

Alternatively, one can make the same point by stating that political control is potentially efficient when a firm's performance is easily monitored by auditing prices, balance sheets, and profit-and-loss statements, or, at the very least, productivity measures and costs. When ex ante opportunism and incompetency can impose only limited losses before ex post information reveals the situation to owners, the agency problem is evidently surmountable in virtually any form of organization. Eliminating the agency problem is equivalent to eliminating the need to consider the merits of one organizational form over another.

Managerial and Entrepreneurial Industries

For that reason it is important to distinguish "managerial" industries from "entrepreneurial" industries. Managerial industries are mature industries in which the market shares of the firms are relatively stable. The product or service is well along in its development cycle. Management of firms in such markets are usually process-oriented. In the Miles-Snow (1978) categorization, the managers of firms in managerial industries are described as "defenders"; they place great emphasis on process control over operational costs. The culture of the firm will favour careful monitoring of costs and the servicing of traditional customer groups. In such markets, the control and monitoring function is largely an automatic by-product of the market. Both success and failure are very soon evident to even casual observers.

An "entrepreneurial" market has been described as a market in which

> the inputs are perceptiveness, judgment, and timing rather than labour hours. High technology activities are, by this definition, entrepreneurial (McFetridge 1984, p. 22).

Organizations hoping to succeed in an entrepreneurial market must adopt a "prospector" culture. Experimentation, flexibility, a capacity for adjustment, a flare for the dramatic, a willingness to plunge in or to exit are all behaviours that Miles and Snow (1978) ascribe to "prospectors." Prospectors keep their rivals off guard and move rapidly to a dominant position in a market. The literature of business strategy is filled with case histories of firms demonstrating, and others failing to demonstrate, a prospector's capacity to initiate change in the market. This is the stuff of organizational planning that matches the structure and culture of the firm to the environment in which it chooses to operate.

The ability of the market for managers to reduce and control agency costs is clearly related to the type of product market – managerial or entrepreneurial – in which the firm is operating. Thus, except for convenience in exposition, it is inaccurate to compartmentalize these discussions. Public-sector managers have an added advantage over their private sector colleagues in that they may be able to use public funds to change the characteristics of the product market in which they operate. Baldwin (1984) and Weaver (1984) both argue that the managers of Crown corporations can, and do, follow strategies that build their own political constituencies. Similar observations are often made about civil servants. Thus public-sector managers may be able to consume resources to build effective lobbies whether or not, by so doing, they assist their alleged political masters to achieve their political objectives. They may successfully lobby for protection from competitors in order to supply political services to constituencies whose "voice" they have themselves cultivated – and possibly at the expense of the political options preferred by the politicians who happen to come to power.

The scope seems vast, in such circumstances, for waste in the delivery of political and commercial services. Managers in private firms might similarly turn to rent-seeking behaviour in order to generate opportunities for maintaining returns that simultaneously satisfy their shareholders and earn above-market returns for themselves. The waste associated with this form of behaviour has received a lot of attention elsewhere (Kreuger 1974). The question raised here is whether or not Crown corporations have an advantage in rent-seeking activity that encourages them to pursue it more actively than their private counterparts.

We conclude that the dimensions of the product market crucially affect the agency costs associated with different forms of corporate organization. The classifications of industry types are necessarily simplistic and hardly immutable. The automobile industry was a managerial industry until the energy crisis and Japanese entry upset the market-share equations by initiating dynamic industry changes. But even if the boundaries between industry types are fuzzy, no one would dispute that today the micro-computing industry is entrepreneurial whereas railway transportation is not.

In an entrepreneurial industry, the absence of a dominant industry leader, or a group of established firms invites "de novo" entry as well as entry by established firms in related industries. Once a firm establishes a significant market share, it begins to enjoy advantages that induce a "shake-out" as the industry matures. Firms that gain market shares reduce their costs when economies of scale and experience are present. More importantly, the initially successful firms usually gain consumer confidence, which may permit them to charge a premium price without losing sales. The latter factor is thought to be particularly decisive when the product being marketed is a consumer durable or a capital good. In those instances, buyers will be influenced by the potential resale value of their acquisition and by the availability of spare parts, service, and future improvements. Buyers of high-tech capital equipment will select the vendor they think is likely to endure to help cope with contingencies – the manufacturer the buyers believe who will survive and whose product will not become obsolete.

The Nuclear Industry Is Entrepreneurial

The nuclear industry displays many of the characteristics of a typical entrepreneurial industry. Utilities that buy a nuclear reactor ask for assurances that the vendor will be in business for the full 40-year horizon over which the reactor is expected to operate. They want someone to turn to if the system's performance is below standard. And if the decision of the utilities' manager is ever questioned, they want to be able to point to others who have made similar mistakes.

Thus the credibility of a producer in an entrepreneurial market is tied to his size. Buyers will pay a premium in order to deal with firms that they perceive to be more likely to survive. These considerations are well understood by proponents of government intervention in entrepreneurial industries. Indeed, it is in the alleged staying power of a government enterprise that some find the advantage of a public firm in the entrepreneurial sweepstakes. Many argue that it is unlikely that any private Canadian firm could hope to sustain itself in the international nuclear reactor market without a substantial guarantee by government that the enterprise will not be allowed to falter; but such commitments are only as valuable as they are credible to potential buyers. The conviction associated with a Canadian guarantee is compared by buyers to similar assurances by French, German, and U.S. vendors, each enjoying a unique level of government support.

Such considerations are well understood also by those managers of Crown corporations whose responsibility it is to commercialize new technologies in entrepreneurial industries. They know how important government backing is, and they resent any criticism of the program that may seem to potential buyers to be a weakening of resolve. Thus executives sometimes sound like Lyndon Johnson, for whom the war in Vietnam was winnable had it not been for the critics of U.S. policy at home who conveyed to the enemy that the U.S. would not stay the course. However petulant this sort of carping may seem, there is more than a grain of truth in the allegation that internal dissension and bickering over a program, where it becomes public, weakens the confidence of potential buyers, possibly at a critical time in the history of a new product's development. Thus, to some writers (Roderick White 1984, for example) what first appears to be a reason for government intervention in entrepreneurial industries turns out to be its Achilles heel. In our society, government enterprise must operate in a fish bowl, and few would want it otherwise.

Credibility problems also affect firms in the private sector. The Globe and Mail carried a story about Westinghouse being confident that the nuclear market will not disappear: "Westinghouse Expects Nuclear Power Revival" (October 9, 1984). They set out their intention to capture a giant share of what will be available over the next few years. In order to prepare for these new market opportunities, Westinghouse is joining in a $150-million venture with a Japanese firm to improve their light-water

reactor designs. This staking-out of position comes after eight years without a single new order in the United States and despite the fact that numerous reactor orders have been cancelled even though construction work had been well on the way to completion.

The Merger Market

Shares in those public-sector services that are wholly owned by a government are not transferable. Competition for management control of a Crown corporation is therefore either diverted into the political realm or takes the form of interagency rivalry. The absence of a market for shares reduces the ability of the financial community to monitor the behaviour of the Crown corporation. In the private sector, financial analysts stand to gain or lose handsomely by monitoring the affairs of firms whose shares are publicly traded. In the public sector, the function of the financial market is assigned to government departments in which no one profits directly from an astute analysis. In addition to a lack of incentive for the government analyst is his or her reliance upon the managers of the Crown corporation for information. Nor can the government analyst's judgment be monitored by comparing it with the collective judgment of investors that emerges in the market price of the share.

Internal Financial Markets

In the private sector the internal financial market will often be as significant as the external market. Management teams like the one in control of Canadian General Electric are evaluated by shareholders, not simply for their acumen as operating managers. In the multidivisional firm, senior corporate officers operate an internal financial market and monitor the performance by the managers of operating divisions. The success of multidivisional firms is a measure of the ability of an internal financial market to reduce both transaction and agency costs. By this means, shareholders delegate the monitoring function to a small group of senior officers whom they hold responsible for the overall performance of the firm.

Roderick White (1984) argues that government has trouble effectively operating an internal financial market. In a study based on the Dash 8 aircraft decision, White criticized the government for failing "to manage a wholly-owned commercially-oriented corporation." White identified the government as a corporate head office and the Crown corporation as the strategic business unit at the divisional level. Integration of divisional and head office interests is achieved in various ways by private industry. The process involves trying to make the firm's structure suit its strategy and environment.

White pointed out that the Boards of Directors in government are supposed to perform the integrative function. Government appoints key deputy ministers to Boards in order to ensure that Crown corporations are aware of government policies and that the government knows what the firm is up to. This process seems to have collapsed miserably in the case of Canadian Crown corporations in entrepreneurial industries. White suggested that the holding companies, like the Canadian Development Corporation (CDC), may play the role of integrator. Why this should follow from organizational principles is uncertain. Presumably, White had in mind that CDC would be less easily enlisted in support of a project than would bureaucrats in government ministries and in central agencies. Possibly the higher profile of the CDC will give Cabinet members more reason to pause before committing themselves to program development.

White's criticisms focused on the financing decision; however, what he described as government failure in the Dash 8 case strikes this writer as a chastisement of government for acting governmentally. Governments must perforce have multiple and everchanging objectives; they cannot effectively operate an internal capital market and be guided by a single, overriding commercial objective. This explains why governments rarely say no to any plan until the last possible moment; they postpone making final decisions. In the meantime, interested groups vie to realign support in their favour within the government. This is an unavoidable characteristic of a democratic government; departments are likely to have as many clients and constituents as there are organized groups. More fundamentally, since the Cabinet's and the Prime Minister's time is the scarcest resource in government, senior government officers can only become involved in the "integrative" process through proxies.

Devising strategy demands a firm, clear, long-term commitment to a general theme and must be articulated by a small number of top executives who have the final say on key decisions. This enables "integration" to be built into divisional plans by the line manager's absorption of a firm's culture. This option seems a forlorn hope in the public sector; Crown corporations are not accurately idealized as divisions of government. To do that would be to displace responsibility for strategic commercial thinking outside the industry itself. That is the very criticism one hears about private conglomerates. Even the worst performing private conglomerates, however, do not place in key-decision roles "part-time" managers earning comparatively modest salaries having comparatively little

at stake in the success of the firm and responsible for numerous other priorities.

The impediments to the successful growth of public firms are not to be sought in tinkering with divisional structures. Organizational change may help, but it does not solve the key problem which is the primacy of politics over fiscal responsibility and entrepreneurship. For example, the Canadair decision was certainly related to the timing of the Quebec referendum and the reluctance of the government to consider announcing a major withdrawal of federal support and a reduction of employment in Quebec. The Dash 8 decision may have been associated with the Canadair exercise in the sense that not to cancel Canadair while cancelling the more attractive Dash 8 project would have created a mine field of potential dangers for the federal government in Ontario.

The recent withdrawal of support from the Canadian Commercial Bank is another example of the primacy of political impressions over economic realities. On commercial grounds the Bank should have been wound up and not supported when its problems first came to light. Every regulator involved would well have understood that a recovery was virtually impossible because "smart money" would withdraw its deposits upon news of the government bail-out; politically, however, the government could not be seen to be indifferent to a regional bank. The provincial government, among other groups, would have had a field day with that. How much better, it seemed, to appear to make every effort to keep the Bank afloat and then pull the plug only after it became crystal clear that money alone was not enough to save the institution. Wise politics, it was surely thought, for civil servants not to embarrass their political bosses and, if possible, to sugarcoat the process; some may have even actually believed they were saving the Bank. Though this latter example is not from the world of entrepreneurial organizations, it does illustrate the cost of allowing politics to rule in all circumstances. How to separate politics from governmental functions like bank regulation is another matter. Heads of the Bank of Canada who are too independent of the politicians do not last long in Canada, and the office of the Inspector General of Banks is a civil service position presently staffed by a career civil servant.

The integration of entrepreneurial organizations into a massive governmental system may simply not be feasible. One reason for failure is that government is not a single massive organization peopled by persons all driving in common towards a well articulated goal. It is more like an octopus whose arms are all wandering in an uncoordinated fashion, often at cross purposes and with conflicting goals. Somehow the behemoth makes some progress in one direction or another. A Crown corporation was clearly intended, in C.D. Howe's mind, to be apart from government so that it might be free of the everyday pressures of political life that is the stuff of life for civil servants within government. But the C.D. Howe model may not work. If the Crown corporation is dependent upon government for its finance, the public firm will be tied to the apron strings of the politicians as surely as if it were a bureau. It seems unlikely that mere shuffles in its reporting lines or its budgeting procedures, will make Crown corporations effective competitors in entrepreneurial markets.

The limitations of the government as banker is more relevant to the CANDU than the Dash 8 project. The former is so long-term that successive governments have become virtual captives of the program.

Efficiency of the Political Process

The final point on our list of influences on the organizational considerations affecting the comparative performance of a public firm is the efficiency with which the political marketplace brings public preferences to bear on politicians and civil servants. A vast public-choice literature examines this issue, only one aspect of which seems especially useful for an analysis of the nuclear reactor industry and that is the extraordinary degree to which prestige exerts itself on politicians. The prestige issue is further exacerbated by the longevity of the nuclear reactor development process. Allison (1971) noted that national prestige ranks high in the motives of politicians, and prestige often develops in proportion to sunk costs. Massive "sunk costs" in the CANDU program combined with high technological achievements make CANDU a package of prestige that politicians would disassociate from only at their peril. In France, the loss of prestige demonstrated by accepting U.S. light-water technology was compensated for by massive investments in the pursuit of the fast-breeder reactor (see Bupp 1980; Bugler 1977*a*; Collingridge 1984*a*; DeLeon 1976, 1980; Fagnani and Moatti 1984). Considering the doubts that many have about the economic feasibility of the fast breeder, it may be that the French fast breeder ought to be a charge against the light-water program, being the political caution money paid to make possible the French shift to U.S. technology. The United Kingdom has not yet managed to extricate itself from the dominance of prestige over commerce (Collingridge 1984*b*; Burn 1978; Cook 1969), but the Sizewell inquiry (Pearce 1982*a*,*b*) will likely lead the British to turn to U.S. technology just as the French and Japanese have done before them.

There is quite widespread agreement that "political" considerations affect the nuclear power market. These

usually "protectionist" sentiments will affect the nuclear options available to a Canadian venturer. It is reasonably predictable that because of the political impetus, world capacity will be overexpanded and profit margins thin. Private investors can enter these prestige fields only if they can count on protection at home and/or on subsidies for sales abroad. This is exactly what has occurred in the nuclear reactor industry, just as in steel, tankers, and petrochemicals.

The "political-decision" framework is useful for many purposes, but it detracts from the objective of this study. Here, the commitment to Canadian prestige invested in the CANDU project is not being questioned per se. It is the role of AECL as a vehicle for developing the CANDU. The counterfactual hypothesis is simply that Canada's nationalistic emotions might have been expressed through financing research and development in private industrial organizations. The latter policy was followed in the United States and Germany, whereas Canada, the United Kingdom, and France adopted a more direct instrument of intervention.

We have examined the factors that may mitigate the higher costs otherwise inherent in a Crown corporation. Few arguments seem to have any merit for the special case of nuclear reactor development. It is difficult to monitor the managers of an R&D firm selling into an entrepreneurial industry, especially to ensure that management salaries will be subject to government guidelines and that equity participation by managers will not be feasible. The long duration of the development process creates more dangers. Politicians can shift the political cost of present benefits to future politicians. The absence of a market in which to trade the shares of the corporation not only negates the market in which management teams compete, it also makes the valuation of the firm's prospects an internal exercise that is untested by independent valuations. But the government is unable to overcome this weakness through establishing an efficient internal financial market. Political prestige is so firmly attached to the pride associated with high-tech development that politicians are at the mercy of the Crown corporation.

In short, there are few redeeming features to justify the Crown corporation, except possibly the savings to be gained from combining a political objective with a commercial one. In the next section, that question will be addressed.

Section B: Political Considerations

What sort of political rather than commercial objectives might offset the relative inefficiency of the public firm in its commercial role?

Public vs. Private Influences in Foreign Nuclear Reactor Development Programs

One way to explore this question is to examine why, in some countries, government intervention in the nuclear industry has not been channelled through a public corporation. In the United States, Germany, and Japan, governments allowed the nuclear reactor business to be developed by private companies. These three governments subsidized research and development proportionally as much as or more than the Canadian government. So alternative instruments for delivering public policy to achieve similar if not identical aims certainly do exist. It is not, therefore, sufficient merely to list public objectives to conclude that a Crown corporation is an efficient means of achieving them. Before a Crown corporation deserves to be designated a potentially efficient mechanism, the efficiency of producing public and commercial services jointly ought to be demonstrated.

Until recently, the apparent success of the U.S. and German programs gave many writers grounds for favouring the "private" route. Burn (1978), on the basis of such international comparisons, argued exactly that way. He attributed the failure of the British, as compared with the U.S. nuclear program to the failures of a public firm. And yet, more recently, nuclear power enthusiasts have been able to point to the apparent success of the French nuclear program. More recently still, the French program is seen to have caused a huge overcapacity in facilities to produce nuclear reactors and still more overcapacity in French generating stations (Collingridge 1984*a,b*). Even before its recent difficulties, however, the French program would have been deemed successful only by those who restricted themselves to the light-water reactor program. When one examines the enormous sums committed by the French to other nuclear programs, its total effort does not score a high mark. Evidently, simple comparisons of reactor industries in different countries sheds little light on the question under investigation here.

One might be able to identify a government's motive for a public corporation by examining why some countries chose to develop the nuclear industry within a public corporation while others opted to use one or more private firms. In France, Britain, and Canada most electric utilities were already in the public sector. In the United states and Germany, private and public utilities co-existed. This correlation may have been accidental, or it may simply reflect some prior ideological commitments to a particular size of public utility. It may, however, reflect a public utility's preference for dealing with a single supplier that can be influenced more effectively through

political voice than a private monopolist enjoying large government subsidies. This seems to have been one of the factors that influenced Ontario Hydro at a crucial time in the development of the Canadian industry.

How and Why the Canadian Nuclear Program Became a Public Project

In Canada, the association between the Atomic Energy of Canada Limited and Ontario Hydro dates back to 1952 when AECL was founded. Given the better bargaining position of Ontario Hydro in this partnership, it is not surprising that the Canadian nuclear industry is a public undertaking. From this perspective the nuclear industry is simply an extension of Ontario Hydro, and to find out why it is public we need to examine, first, why Ontario Hydro is in the public sector and why Ontario Hydro asserted its influence in favour of the public rather than private option. The first question has received much publicity elsewhere. Recently, Baldwin (1984) offered a new interpretation of the data advancing a bold new reason for Crown corporations in certain industries. According to Baldwin, firms having a large capital investment in immovable facilities with no alternative uses are susceptible to opportunistic behaviour by politicians. In the short run, politicians can respond to consumer pressure by imposing low prices without withdrawing service. This process is parallel to the way rent control is imposed, despite the knowledge that, in the long run, rent control damages the housing stock and forces the government to supply public housing. This mechanism, although very inefficient, may still be the best means by which politicians can respond to tenant associations' demands for rent control. Baldwin demonstrates that, for constitutional reasons in the U.S., utility industry rate-regulators were required to set rates that would allow a reasonable rate of return. In Canada there was no such legal protection provided against the expropriation of private property achieved by setting maximum prices so low that a firm could not recover its capital cost. Once private investors are dissuaded by low returns, a public firm takes over the responsibility. In that sense, the public firm, writes Baldwin, may be a social mechanism that has evolved as a means of responding to the opportunism of politicians. Ironically, one of the burrs under the U.S. nuclear industry is the political sensitivity of rate regulators. They are interpreting the regulatory rules as not allowing new nuclear generating stations, especially those that are not to reach competition and enter into operation, into the rate base. Firms are having extraordinary difficulty financing these projects because there is more than a little doubt about whether the regulators will allow rate increases of 50, 60, or 70 per cent. These are the sorts of increases that standard rate-of-return formulas call for when the rate base is increased by the book value of a nuclear power station, including the accumulated cost of capital during the period of construction (Cook 1985).

As attractive as Baldwin's thesis may be in explaining the domination of Canadian electrical utility markets by public corporations, it fails to fit the specific case of the emergence of AECL. One can think of a number of cases of ex post opportunism that would have dissuaded a private firm from taking any initiative here, at least until the government had set out a policy for funding private research and development. Without government support, the private firm would have been forced to compete with foreign nuclear reactor developers who are supported by government subsidies. Even some sort of federal guarantee of the Canadian market would be an unconvincing carrot. Knowing that provincial utilities are the only customers, a private developer would have every reason to fear that political opportunism would force him to reduce his price to the level of the foreign competitor. Otherwise the firm might expect the government to remove protection from foreign producers, or it might be expropriated by the provincial government at book value. Either way, the fear of political opportunism causes any reward for risk taking to be reduced to an unreasonable level. If the project fails, the investor loses all, notwithstanding the public subsidy. If the research and development succeeds, the investor is unlikely to be allowed to earn the sorts of high returns that a risk-prone project such as this would usually command.

The above scenario offers one possible explanation as to why a private firm might hesitate to invest heavily in nuclear reactor development in a small domestic market with only a handful of potential buyers, especially when those buyers are in the public sector. Canadian experience does not, however, seem to conform to the opportunism model. Instead, government has actively discouraged private-sector development. There seems to be two reasons for this. First, the Canadian firms potentially capable of undertaking the research and engineering work at the outset of the program were both subsidiaries of U.S. firms. The parent companies – General Electric and Westinghouse – were each pursuing other and competing nuclear power options. Second, Ontario Hydro maintained its long-standing policy of encouraging multiple sources of supply.

The Influence of Canadian Nationalism

It was not always true that nationalism caused the government to discourage the participation of Canadian subsidiaries of foreign firms. In 1954, the contract to

build the NPD reactor was let to Canadian General Electric. (For a list of Canadian reactors see Table 3-1.) Sims (1979) reports that one important factor favouring CGE was its parent company's participation in the U.S. nuclear power program. This attitude did not last. The commercial exploitation of nuclear reactor technology had not yet commenced in 1954. Canadian authorities may have perceived the U.S. connection to be a means of inexpensively accessing foreign technology. Just five years later, however, when the Douglas Point reactor was being designed, AECL likely perceived itself to be in a commercial race with Westinghouse and General Electric.

Certainly nationalism influenced decision makers on numerous occasions when private-sector involvement in the program might have been maintained or increased. But if the Canadian government believed it was in a race with foreign competitors for lucrative sales in foreign markets, it can hardly be blamed for not wishing to risk sharing its technology with a competitor's subsidiary. This brings us around to the crucial issue. Was the Canadian government motivated solely by commercial profit opportunities or did it have other aspirations?

Determining AECL's Mission – Was it Intended for AECL to Become a Government Research Laboratory or a Commercial Organization?

As is so often the case, all the participants in the early days of AECL had mixed motives. Sims (1979) and Eggleston (1965) reviewed the early history of AECL. What follows relies principally on those secondary sources. Based on that literature and a handful of interviews with some pioneers in the field, it is safely concluded that many persons in the scientific establishment looked to commercial opportunities as a means of ensuring that both research facilities and opportunities would continue to be available to them.

Before AECL was founded, a commercial products division at Eldorado Mining and Refining Limited – a Crown corporation – was engaged in processing radium and radium products. That group was transferred to AECL in 1952. Eggleston stated that

> It was recognized from the beginning that since the market in Canada for isotopes would be limited, it would require an export market and large volumes to reduce costs and offer a first-rate service to Canadian users (p. 274).

Sims reported that as early as 1947 when the NRX reactor went into service, Dr. MacKenzie, later to become the first President of AECL, was

> worried by the large size of the Chalk River establishment, which was only being used for nuclear research purposes ... a new reactor primarily dedicated to plutonium production would provide a strong commercial justification for Chalk River (p. 40).

Financial concerns were aggravated by the expectation that the working life of a reactor might only extend five years.

Table 3-1

Canada's Domestic Nuclear Power Program

	Capacity (MWe)	Date of order	Date of operation (actual or scheduled)
Reactor or station:			
1) NPD	22	1955	1962
2) Douglas Point	200	1959	1966
3) Pickering A 1, 2	4 x 515	1964	1971
3, 4		1967	1972-73
4) Bruce A	4 x 746	1969	1977-79
5) Gentilly II	637	1973	1982
6) Point Lepreau	630	1974	1982
7) Pickering B	4 x 516	1974	1983-84
8) Bruce B	4 x 756	1975	1983-87
9) Darlington	4 x 881	1978	originally 1984-87, but now 1988-90
Total (3-9)	14,923		
Total (3-8)	11,400		

SOURCE Canada, Department of Energy, Mines and Resources, *Nuclear Industry Review: Problems and Prospects, 1981-2000* (Ottawa: Supply and Services Canada, 1982), p. 4.

The NRX was planned in 1944 to cost $10 million. It came on stream three years later in 1947, and its cost probably exceeded the budgeted amount. At that stage, then, the scientific community foresaw a need for significant and continuing expenditures to make nuclear reactors available for scientific research.

The NRU reactor project proceeded in 1950 on the basis of a contract to supply plutonium to the U.S. government. No wonder, then, that Sims reported as follows:

> the government fully expected that AECL could eventually become self-supporting from the sales of radio isotopes, mainly plutonium.

This hope vanished in 1962 when the United States failed to renew its contract for plutonium.

One of the major reasons for AECL having been created as a Crown corporation in 1952 and for separating it from the National Research Council (NRC) was the increasing commercial nature of its activities. But the responsibility for generating electricity was not in the initial mandate of AECL. The possibility of doing so was then in the air. Dr. W. B. Lewis completed a proposal for atomic power in August 1951. In 1953, C.D. Howe revealed for the House of Commons that

> the production of power is the concern of those who distribute power – organizations like the Hydro Electric Power Commission of Ontario (HEPCO – later to be renamed Ontario Hydro) or the major privately-owned power companies (Sims 1979, p. 99).

When AECL was first set up, Canada's chief planner was not thinking of taking it into the power-generating field. In 1954, a study team headed by a HEPCO engineer was set up in which B.C. Electric, Shawinigan Water and Power Co., Manitoba Hydro, Canadian Brazilian Services, Montreal Engineering, and Babcock & Wilcox participated. (In an interview with a senior CGE executive I was advised that CGE also participated in this task force, but Sims did not report that.) AECL reported that

> contracting firms will be responsible for design and construction and for mechanical performance (quoted by Sims 1979, p. 10).

With the design work complete, tenders were let, and CGE was awarded the contract.

In 1956 the government estimated that its expenditures in the five years to follow would be $36, $30, $20, $13 and $15 million, respectively; AECL actually spent $3, $25, $29, $31 and $38 million (Sims 1979, p. 106). Evidently, in 1956 the government did not foresee itself at the brink of a major financial commitment, although it was conscious that its investments were more than a little risky.

> ... no one could say at this time which type of power reactors would prove to be the most economic (W. J. Bennett 1956, as quoted by Sims 1979, p. 112).

Only after 1959 did the government commit itself to gambling a large amount of money on the chance of an economic opportunity. Until then, it had hoped to contain the costs of scientific experimentation through modest expenditures that were fully expected to earn both income and prestige. In 1960 the CANDU remained a doubtful proposition. By now, however, the government had sunk $81 million into the Douglas Point reactor project. Hydro Ontario was expected to buy the plant once it was fully operational; however, the Government of Canada financed the project and shouldered all the risks.

Sims listed the multiple political motives at play. First, the reaction to the Conservatives' cancellation of the Avro Arrow project warned the Liberal government of the political price to be paid for the cancellation of a scientific project. Second, the uranium mining industry was then largely located in the Prime Minister's home riding of Elliot Lake, and it was being threatened by a U.S. embargo on importing uranium. Finally, Ontario Hydro required new generating facilities quickly, and it became an avid fan of the CANDU system.

C.D. Howe was no longer the politician in charge. In 1957 he was replaced by Gordon Churchill as the Minister in charge of atomic power. Howe is well-known for having believed that Crown corporations ought to be, first and foremost, commercial corporations. He and the President of AECL at the time agreed that the private sector should be the developer of nuclear power. Bennett was a

> strong advocate of private sector involvement in the development of nuclear power (Sims 1979, p. 14).

This changed altogether in 1958 with the appointment of Lorne Gray. As early as 1956, Gray had declared his hostility to Canadian engineering companies in the following terms:

> there are no experienced development departments in Canadian engineering manufacturing companies (Sims 1979, p. 115).

He blamed this on the branch-plant nature of the Canadian industry. At the time, CGE's performance in constructing

the experimental NPD reactor was being criticized. But a private contractor was probably out of the question by then because AECL had already built up a design team to work on the Douglas Point reactor. As mentioned above, Ontario Hydro preferred to have AECL supply the nuclear reactor and certainly took no steps to resist Lorne Gray.

Strategic long-term thinking did not cause the shift away from private to public development of the CANDU system. If the federal government was, at that time, thinking of selling CANDU abroad in competition with U.S., British, French, and later German and Swedish reactors, it gave no indication of that. It built an organizational structure that was appropriate for delivering under a project mandate; see Sayles and Chandler (1971). The AECL need not have had a marketing strategy if it was to remain a partner with a provincial Crown corporation that was looking solely to supplying its internal requirements for generating capacity.

Atomic Energy of Canada focused on domestic developments. It participated in the design work for a reactor built in India, but the contract was between governments and was part of Canada's aid for India. Canadian General Electric, frozen out of the domestic market, turned to the foreign market with limited success. In 1964 it sold a reactor to Pakistan on a fixed-price contract, and it earned a profit. After that it failed to make any more sales. The CGE executive at the head of their nuclear program at the time said in an interview that CGE was a front runner to sell a CANDU reactor in Argentina but that the government was unwilling to assure export-financing guarantees on two projects simultaneously. The company asked to be authorized to offer the guarantee of financing to both Argentina and Finland and to accept only the first bid.

Why the government would not have agreed to an arrangement like the one suggested by CGE is difficult to imagine. Was AECL worried about a domestic competitor? Argentina accepted an offer from Seimens for a heavy-water design reactor largely because of the better financial terms offered.

In 1964, the same year that it won the Pakistan contract, CGE was prepared to bid, on a fixed-price basis, on the design and construction of Pickering. Ontario Hydro and AECL made it quite clear to CGE that it would not accept their bid under any circumstances.

Since to prepare a bid costs several hundred thousand dollars, CGE did not bid, and the occasion virtually marked the end of major private-sector participation in the business of designing nuclear reactors. CGE departed from the industry as an integrated designer, marketer and builder of nuclear reactors in 1968.

Atomic Energy of Canada absorbed many CGE marketing people, and it was authorized by the government to market nuclear reactors abroad. The significance of the export drive to AECL is indicated by the personal involvement of Lorne Gray, the President. Sims (1979, p. 133) reported that he involved "himself in all aspects of the marketing program." The export market was fiercely contested (see Table 3-2 for a list of export sales). The vice president of marketing at AECL remarked that "there were almost as many bidders as buyers" (Sims 1979, p. 135). Gray did not underestimate the importance of export sales. Although, until 1975, domestic demand looked to be sufficient to maintain a healthy level of activity for CANDU manufacturing, Gray acknowledged that

> if you do not get any business it will certainly indicate there is something wrong with AECL. We are putting our reputation on the line (as quoted by Sims 1979, p. 136).

Speaking later, in 1977, he admitted that we

> were really concerned about the future of the Canadian nuclear power program if we did not get something (as quoted by Sims 1979, p. 136).

Sims made much of J. S. Foster's remarks in 1975. Foster, who had taken over from Gray as the head of AECL, stated:

> They do not, however, give a true picture of what is basically important in AECL's operation. AECL's main role must continue to be the development of methods of applying nuclear energy for the increasing benefit of mankind in general and Canadians in particular.... It has been necessary to take on major commercial responsibilities such as the production of heavy water and the export of nuclear power plants to maintain a healthy Canadian program but these are *incidental to AECL's main role* (as quoted by Sims 1979, with emphasis added, p. 259).

Sims believed that Foster was admitting that AECL was a research organization that approached commercialization in an off-hand manner. This may have been the case, but it is just as convincing to read the above quote in the context of an organization that realized it had failed to fulfill its mandate. Embattled over a paltry number of loss leader sales abroad, frustrated by lack of acceptance in the United Kingdom, Japan, and Italy, and embarrassed by a fiasco in the production of heavy water, who would not seek refuge in the thought that these were secondary concerns? And even if AECL visualized itself as a research organization for research sake, is this what the government had in mind? Sims faulted AECL for never having taken its commercial mandate seriously enough. It

Table 3-2

Summary of Export Sales, by Country

	Date of order	Date of operation	Type
India	1956	1960	NRX-type research reactor (CIRCUS)
	1963	1972	200-MWe power reactor (RAPP 1)
Pakistan	1964	1970	125-MWe power reactor (KANUPP)
India	1967	1981	200-MWe power reactor (RAPP 2)
Taiwan	1969	1971	NRX-type research reactor
Argentina	1974		600-MWe power reactor (CORDOBA)
Korea	1976		629-MWe power reactor (WOLSUNG)
Roumania	1979		629-MWe power reactor (CERNAVODA – 1)
	1981		(CERNAVODA – 2)

SOURCE Canada, Department of Energy, Mines and Resources, *Nuclear Industry Review: Problems and Prospects, 1981-2000* (1982), p. 4.

is possible to read the same data as indicating that AECL did indeed take its commercial mandate seriously, it merely failed to make a go of it.

The Growing Role for Commercial Exploitation of CANDU

The premise motivating this section is that a Crown corporation could be an efficient instrument for delivering government policy, if simultaneously the government has other non-commercial objectives. At the outset of the nuclear reactor development program, commercial opportunities were clearly secondary. Such opportunities were thought to be a simple and convenient means of financing a growing research effort. The research effort was initially a matter of prestige and one of appreciation that the education and training associated with atomic projects would help to train personnel for the future. A minor effort to exploit commercial opportunities was launched. The isotope business seemed to develop of its own accord, and later the nuclear reactor market presented itself in the form of Ontario Hydro demand. Atomic Energy of Canada have expected that at the then predicted rate of growth of world reactor demand, buyers would come to its door without solicitation.

The initial focus of AECL and its government sponsor was research, but its mandate included commercial activities in order to finance that research. Without the latter expectation, there would have been no reason for transferring AECL out of the National Research Council. At the time, there was widespread optimism about the future commercial potential for nuclear energy. But events controlled AECL rather than the reverse. In time, the political awkwardness over curtailing prestigious scientific projects and over the participation of U.S. branch plants, combined with bureaucratic and technical arrogance towards commercial endeavours, oriented AECL. It was surely no accident that Lorne Gray became president of AECL at that crucial time. His views and attitudes were on record. Some political process was surely at work in bringing to the head of AECL a president who welcomed direct government intervention. In that sense, one cannot distinguish AECL's influence on the government from the reverse.

At the outset of the program there was no opportunism involved. All sides seem to have been well informed and aware of the process in which they were engaged. The effect was to eliminate CGE as a contender in CANDU markets and to focus on the partnership with Ontario Hydro. The government's failure to support simultaneously CGE's bids in both Argentina and Finland suggests that it was satisfied with its own vehicle for developing the technology.

After 1968, the government's expectations about AECL changed fundamentally. The increasing charges to the federal treasury were not being counterbalanced by commercial opportunities. All benefits from the program, measured in terms of employment or installed nuclear-generating capacity had accrued to Ontario alone. The federal government needed some foreign exports, if only to justify its role in a program that was benefiting the then richest province in Canada. The heavy-water fiascos can be explained by political sensitivities that sought to reallocate some of the benefits of the program to the Maritimes and Quebec. After 1968, then, the political interests of the Canadian government were tied almost exclusively to the commercial success of the CANDU reactor in world

markets. Not only would this justify the use of federal subsidies to voters and governments outside Ontario, it would stimulate demand for heavy water from the Maritimes and engineering services domiciled in Quebec. Ontario had by this time moved to meet most of its own requirements internally, apart only from research. Atomic Energy of Canada was becoming the Canadian developer of CANDU abroad, assuming somewhat the same role that had been assigned to CGE just a few years earlier.

Two anonymous referees point out that the Canadian government revealed second thoughts about an aggressive commitment to commercializing nuclear reactors through sales abroad. This is evidenced by Canada, among countries trying to export nuclear reactors and uranium, having taken a leadership position in seeking safeguards from buyers aimed at ensuring that Canadian nuclear reactors and uranium would not be put to military uses (see "Canada, EMR 1981*b*, p. 333; Noble 1978; Legault 1976; Keeley 1980; Hunt 1977). But political considerations that may have hampered Canada's marketing efforts did not materialize until after India exploded a nuclear device in 1974. The safeguards issue therefore has no bearing on AECL policies prior to 1974. Moreover, a central thesis of this study is that AECL failed to sell CANDU reactors in developed countries, especially in the United States and West Germany. In these countries, as also in Great Britain and Japan, the safeguards issue would not have had any influence on CANDU sales.

It is concluded, therefore, that, at least from 1970 on, the federal government valued the commercial success of AECL, especially in world markets, not just for the financial advantage but also for political advantage. No joint or competing political services need have impeded AECL from fulfilling its commercial mandate. When domestic political considerations played a role, as in the construction of heavy-water facilities in Nova Scotia and Quebec, the federal government provided the extra financing. Atomic Energy of Canada was never asked to cross-subsidize any group or region out of its own revenues.

4 A Framework for Organizational Analysis

As outlined in Chapter 2, organizational theory is not developed to the point where it offers an adequate framework for making a definitive choice between a public and private firm as an instrument of public policy. It does indicate that in the absence of non-commercial public objectives for the firm, a privately-owned firm is to be preferred. The advantage of a private over a public firm is difficult to quantify, however. It may be insignificant, in which case even minor political goods could be delivered at reasonable cost through a public corporation.

Until theory is better established, it is natural to evaluate the performance of a public corporation by comparing its conduct and performance with best managerial practice.

Business Strategy

The business strategy literature collects examples of managerial practices and strategies that correlate with success. Though not definitive, these correlates do enter the thinking about strategic planning in most major private corporations. From this perspective, it is interesting to ask how AECL's management performed compared with the best standards of private-sector management.

Not all organization theorists agree that management has the capacity to pro-actively influence the organizational structure, conduct, and performance of the firm. These groups of theorists, conveniently grouped together here under the title of "environmental-dominance theorists," believe that the organization's structure and strategy conform to certain functional prerequisites in some predetermined fashion.

The viewpoint adopted here is that the environment, though highly influential, allows managers to operate with a large measure of free will. In the "management strategy" model adopted here, top decision makers in the organization determine its objectives and align the organization towards attainment of those objectives.

This doctrinal distinction between the "environment" and "strategy" theorists is peripheral to the purpose of this study. The strategic model is adopted because it sets out what contributes to effective management. The objective is not to blame ex post the players who followed what seemed, ex ante, to be an optimal strategy; the objective is to learn from past experience and to contribute to a sounder understanding of the path that a government sets for itself when it decides to become the main sponsor of risk-prone and newly developing industries.

Nor is the "business strategy" literature so advanced that it enables the analyst to make definitive forecasts of what tends to success and what is doomed to failure. It is difficult, for instance, to explain why Xerox – renowned for technological innovation – should have allowed so many of the key technological breakthroughs in the microcomputer industry to be exploited by Apple and others, though they were developed in Xerox laboratories. Nor is it evident why IBM, a late starter in the microcomputer field and a firm widely alleged to be inflexible, should have emerged almost overnight as the main challenger to Apple. Countless others, including major computer producers and well-managed firms like Texas Instruments, Hewlett-Packard, and Digital Equipment (DEC), tried and failed.

Strategic Management

Though strategic choice is the domain of the chief executive officer (CEO) and senior corporate management, their choices will be constrained by the various constituencies upon which the performance of the organization depends. Broadly speaking, Donaldson and Lorsch (1983) identified three key constituencies: the capital market, the organization and the product market.

Capital Markets

The capital market is the source of external finance, which includes shareholders as well as sources of debt finance. Donaldson and Lorsch documented that firms seek in every way to be independent of those external suppliers of finance. Senior management's responsibility to this constituency is internalized. Major firms make an intense effort to operate an internal financial market. Most firms within the sample studied by Donaldson and Lorsch gear the growth of a division's assets to the divisional returns retained by the firm.

Top managers consistently identify external financial sources as fickle and seek market strategies that permit internal financing of investments that are thought to be especially risky or to have long gestation periods. It is from this notion that the "growth/market-share" matrix, popularized by the Boston Consulting Group, is well received by corporate leaders. The matrix combines two fundamental themes – portfolio diversification as a means of risk reduction with the "product-cycle" model. The product-cycle scheme is supplemented by the "learning or experience effect." Together, these effects lead innovators to rush expansion and growth in order to pre-empt a substantial market share. Consequently, investment at the early stage of the product cycle must be large and possibly irreversible. For management to retain the allegiance of its owners and creditors, and to enable it to manoeuvre strategically, it is prescribed that the organization should adopt a product mix at various stages along the product cycle. This outcome flows from a preference for internal over external sources of finance.

The drive for freedom from "capital-market dominance" is partly explained by the insider's attitude towards risk. Donaldson and Lorsch report that explicit risk analyses are absent from the formal planning processes of these firms. They report that "senior executives believe that risk can be modified by managerial wisdom and skill." Senior executives distrust the market outsider's judgment of risk and opportunity, and they expect that a successful long-run track record will satisfy the financial constituency. Many corporate managers are reported to have consciously diversified outside the traditional strength of their firm in order to attain greater stability for "strategic" corporate manoeuvre.

Product Markets

The product-market constituency imposes its discipline primarily through the actions of a small number of key competitors. "Share of the market" or "rank in the industry" are measures that management uses to evaluate success even when those measures cannot readily be related to profitability through economies of scale or other advantages associated with scale. Buzzell, Gale, and Sultan (1975) reported that in industrial-goods markets, the share of the market is a particularly critical measure of success. This is still more the case when buyers are few and purchases are infrequent – circumstances that clearly describe the nuclear reactor market.

The Organization's Constituency

Finally, the organization constituency constrains senior management's freedom because its stability depends upon retaining its highly trained professionals and managers. The lower one is in the corporate hierarchy, the greater his or her mobility. Longer tenure increases one's value to the firm while decreasing one's market value to other firms, because "firm-specific" skills and knowledge increase in relation to general qualifications. Senior management, therefore, seeks to ensure growth in order to maintain opportunities for promotion or, otherwise, to build loyalty to the organization.

Research departments are especially difficult to manage. The literature is full of examples of a research department's culture deviating from a company's norms. Researchers are reported to be "prima donnas, like members of a university faculty; the timing and usefulness of their output is uncertain" (Jauch 1983, p. 20).

This observation is, of course, particularly relevant to AECL since until 1978 it was said to have resembled an R&D division of a major firm. As reported above, from its earliest years commercial opportunities were pursued not for their own sake but as a means of financing further research on nuclear physics and engineering. Sims reported that Dr. MacKenzie "felt strongly that AECL should have a first president from the research tradition" (1979, p. 40).

Motivating Managers

In the private sector, senior managers are themselves virtually independent of financial pressure. Once they reach the pinnacle of the organization, they are wealthy men. Their wealth, however, is underdiversified. A disproportionate share of their wealth is tied up in the equity of their own firms; for that reason, even if senior managers are wealthy, their behaviour is affected by executive compensation plans. Recently, Jensen and Zimmerman ([eds.], 1985) reported findings that support the conclusion that "executive compensation plans help align managers' and shareholders' interests." The papers they reported on document that

1) executive compensation is positively related to share price performance;

2) poor firm performance is associated with increased executive turnover;

3) managers choose accounting accruals in ways that increase the value of their bonus awards;

4) the adoption of new short- and long-term executive compensation plans and golden parachutes are associated with positive share price reactions;

5) managers are less likely to make merger bids that lower their stock prices when they hold more stock in their firm.

For the 12 "Fortune 500" companies studied by Donaldson and Lorsch (1983), the average age of the 12 CEOs was 60. The average compensation for 1978 was $326,000, and all of them held a considerable amount of wealth in the form of shares of their corporation. This amount varied from $300,000 to $500 million. Non-CEO corporate managers in that sample of firms were just slightly behind the CEOs. Their mean age was 56; they had served for 26 years with the same company; their mean salary was $204,000; and they owned shares in their firm worth $780,000. Share ownership ranged from a low of $90,000 to a high of $5.4 million.

These data for the 12 Fortune 500 companies conform to similar measures for the full population of the 500 companies. This suggests that firm-specific knowledge is of such importance to senior corporate managers that only rarely are they recruited from outside the firm. Senior corporate managers are creatures of the cultures of the firms that spawn them. Unfortunately, Donaldson and Lorsch do not explore the functional specialties that the senior managers bring with them, as this might tell us something about the fields that incubate the best strategists. At AECL the executives' interests are not tied to the firm in the same fashion as described above. Eleven AECL executive officers were paid an aggregate of $955,167 in 1982 – up from $746,700 in 1981. This level of remuneration hardly compares with the $200,000 in U.S. dollars earned in 1978 by individuals in comparable positions in the U.S. Fortune 500 companies. It is superfluous to mention that senior executives hold no equity in AECL.

Senior managers are constrained to act on behalf of their various constituencies by their own equity position in the firm, their roots in the culture of the firm, and the selection process that brings them to the top. The threat of a merger or a proxy fight seems to provide, at most, infrequent disciplining of the managers of major firms. It is possible that the potential for transferring control away from an incumbent managerial group may be a spur to performance, but Donaldson and Lorsch believe senior managers are governed by other motives. Similarly, the market for senior managers is thin; thus, firms seem to ensure that once they are near the top, those managers are sufficiently well rewarded to retain their allegiance. Some have argued that shareholders are protected from management shirking by a competitive market for senior managers. Donaldson and Lorsch's findings suggested that the promotion systems used are so effective that management firing and hiring in the top echelons is extremely rare.

Donaldson and Lorsch also suggested that senior managers are strongly motivated to perform well because of peer pressure and because of the desire to retain independence in their own functions. The ability to balance constituent interests is lost when earnings falter.

By way of summary, then, we can characterize top management's job as one that creates some independence for strategy formulation and implementation. If they become beholden to one of the firm's key constituencies, senior managers may find that they cannot get the firm off on a siding even when they know that to continue on the present track is to court disaster. When this framework is applied to AECL, it appears that AECL's top management does not have the required independence to formulate and implement strategy. It is dominated by all three of its constituents: the capital market, in the form of the Government of Canada; the product market, in the form of its coventurer, Ontario Hydro, and its competitors, especially Westinghouse and Framatome; and its organization, largely comprising R&D-type personnel. In addition, AECL's senior managers are not paid salaries, nor are they offered incentive, commensurate with those of leaders with the same level of responsibility for formulating and implementing business strategy in comparable firms in the private sector.

AECL and the Capital Market

Federal Government Financial Support

The financial market for AECL is the Government of Canada. Politicians and government bureaucrats control the external funding available to the organization. External funding has been substantial. Table 4-1, from a study by Palda (1984), indicates the extent of just R&D support alone. Without the government's "purchases" of R&D services from AECL, its balance sheet would look bleak indeed. But this little bit of camouflage is useful, insofar as it provides some measure of performance on current operations. In addition, the government contributes to maintaining "prototype" reactor operations and has written off both the debt and interest associated with various reactor and heavy-water installations that are abject failures in both technical and commercial terms. Until the cancellation in March 1985 of heavy-water production in Nova Scotia, the government had funded the costs of producing and storing heavy water, which AECL had wished to discontinue for some time. With 10 years' requirements in storage and no markets on the horizon, the political influence that permitted a handful of jobs in a given riding to warrant, over many years, annual expenditures of

Table 4-1

Federal Government Expenditures to Support Nuclear Energy Research and Development, Canada, 1947-82 (Current and 1981 Dollars; Expenditures Funded by Appropriations)

	AECL R&D	AECB research	NRU reactor and Chalk River facilities	Total R&D support	
			($ Millions)	(Current $)	(1981 $)‖
1981-82	145.715	–	–	145.715	145.715
1980-81	123.119	–	–	123.119	136.660
1979-80	114.654	–	–	114.654	140.680
1978-79	119.120	–	–	119.120	161.230
1977-78	128.490*	–	–	128.490	184.865
1976-77	110.058†	–	–	110.058	169.295
1975-76	93.576	11.346	–	104.922	177.083
1974-75	85.921	10.375	–	96.296	179.871
1973-74	87.918	7.245	–	95.163	204.898
1972-73	78.206	7.896	–	86.102	202.335
1971-72	77.048	11.720	–	88.768	219.035
1970-71	68.942	7.100	–	76.088	193.768
1969-70	69.000	5.400	–	74.400	198.250
1968-69	68.600	3.959	–	71.195	198.041
1967-68	66.500	2.500	–	69.000	198.189
1966-67	57.983	2.000	–	59.983	178.721
1965-66	52.667	1.600	–	54.267	169.293
1964-65	45.158	1.250	–	46.408	149.491
1963-64	44.924‡	0.900	–13.761	32.063	105.757
1962-63	37.062	0.770	–	37.832	127.175
1961-62	33.933	0.700	–	34.633	118.144
1960-61	38.218	0.650	–	38.828	132.875
1959-60	29.408	0.650	1.098	31.156	107.973
1958-59	25.684	0.400	4.714	30.798	108.866
1957-58	21.131	0.400	8.863	30.394	108.929
1956-57	21.544	0.300	11.001	32.845	120.241
1955-56	18.626	0.300	12.554	32.886	124.840
1954-55	14.645	0.300	6.967	20.506	78.326
1953-54	12.360	0.300	4.009	16.669	41.131
1952-53	12.610	0.300	4.794§	17.704	68.579
1951-52	12.076	0.200	–	12.276	49.656
1950-51	7.177	0.150	–	7.327	32.990
1949-50	6.618	0.150	–	6.768	31.440
1948-49	5.747	0.143	–	5.890	28.327
1947-48	5.573	0.150	–	5.723	30.893
Total R&D support, 1947-82					4,683.396

* Excluding $87.571 – million budgetary expenditure covering write-off of Gentilly I debt.
† Excluding $85.491 – million budgetary expenditure resulting from forgiveness of interest on Gentilly I and Douglas Point reactors.
‡ Excluding $25.239 – million budgetary expenditure covering write-off of NRU reactor.
§ Non-cash item: Namely, value placed on assets of Chalk River Project on March 31, 1952, when AECL was created.
‖ GNE deflator (1971 = 100), fiscal years March 31, 1977 to March 31, 1982; 1981 index value estimated at 246.75.
SOURCE K. S. Palda, *Industrial Innovation: Its Place in the Public Policy Agenda* (Vancouver: The Fraser Institute, 1984), pp. 105-106.

hundreds of millions of dollars (mostly to pay for energy inputs that were themselves being subsidized) is to be admired, even if the waste is to be deplored. In 1982 alone, the Government of Canada advanced about $284 million to Atomic Energy of Canada Limited with no realistic expectation of ever seeing a financial return on those funds. Of the total, $138 million was to carry old commitments like the maintenance of Gentilly I and the Douglas Point reactor, as well as the continued production of heavy water. This was in addition to the $750 million written off by the government in 1971 for heavy-water plant construction. Palda estimated that, in total, the

government had advanced about $6 billion in 1981 dollars as of 1982, two-thirds of which went for R&D and the rest to write off prototype reactors and heavy-water plants. Palda's estimates intentionally overlooked the opportunity costs of the funds advanced. Using a 7.5 per cent real rate of return as the opportunity costs of those advances, the current cost of Canada's investment is sizeable indeed. (Having amounted to over $14.2 billion in 1981 dollars up until 1981 for R&D support alone.)

In spite of those sizeable figures, the full cost to the federal government has been understated. Outstanding loans to provincial utilities are at low rates, while foreign sales are subsidized by export financing arrangements.

Unlike the strategists that dominate the Fortune 500 companies studied by Donaldson and Lorsch, AECL executives are dominated by an external capital market. This restricts their freedom to select strategy and predisposes them to be, in the words of Miles and Snow (1978), "reactors."

Displacement of Power to Government

These conditions suggest that the locus of power for strategy formulation cannot be within the company. Government has the initiative, and strategy will be influenced by that constituency more than by others. If, as Donaldson and Lorsch suggested, strategy formulation and implementation require continuity of service, deep full-time commitment, and a considerable measure of centralization of authority, it is hardly reasonable to expect government, as the external source of finance, to provide the leadership in strategic design. Tavel (1980) argued that a formal planning procedure is only as good as the "genius" of an individual who adds intuitive judgment that a formal planning process by itself rarely produces.

It goes without saying that government cannot provide the continuity of service needed. Responsibilities are divided among different departments, and the politicians' attention is fleeting. Deputy Ministers on the Board of Directors of AECL attend irregularly, and even then they are hurriedly briefed by junior officials.

Of the executive officers in 1984, only A. J. Mooradian, Senior Vice-President, brought to his position the continuity of service with AECL that Donaldson and Lorsch argued is the hallmark of successful corporate management. It is not an exaggeration to say that the executive officers who presently guide the business are, for the most part, new to the company since 1978.

AECL as an Organization

Everyone this writer spoke to at AECL acknowledged that the corporation has been transformed since 1978. Until then, the company culture reflected its origin as being essentially a government R&D laboratory. Commercialization has always been envisaged as subordinate to the main mandate – research into nuclear physics and reactor technology.

Whether or not a commercial orientation can successfully be grafted onto an R&D organization with a 30-year history of success, as measured by its internal values, is yet to be evaluated.

Managing Technologically Complex Systems

Much has been written about managing technologically complex, large systems. Sayles and Chandler (1971) reported on a three-year intensive analysis of both NASA and the U.S. Atomic Energy Program. What strikes one about this literature is the enormous managerial achievements needed, even in the absence of a commercial-market orientation. Failure is frequent, and success is frankly surprising. Since reading these accounts, the writer holds his breath whenever NASA launches a vehicle. (The preceding sentence is from an earlier draft written before the Challenger accident; and the author has left it in this final version for effect.) As of 1971, Sayles and Chandler reported that failure was common in U.S. military programs, but also in "perfecting high-speed trains, in the fabrication of high-pressure nuclear vessels, in the manufacture of 'heavy water' and in advanced electronic and construction projects" (p. 4).

Sayles and Chandler concluded that the management of large development systems is different from traditional commercial management:

> Traditionally, managers are taught to identify their ultimate ends and purposes, set objectives that will help attain these, and then develop operational plans. Unfortunately, this comforting and logical sequence gets upset in the real world of large systems. Clear objectives often disguise conflicting purposes reflecting the divergencies among the temporarily allied groups in the federation. Existing operational techniques often seek objectives that they can implement, rather than the other way around. Planning turns out to be a dynamic, iterative process. This inevitably disperses authority, since a small group of expert, high-level "planners" cannot define strategy (p. 4).

As a development project, CANDU seems to deserve the high marks its own participants are quick to give it. There have been numerous glitches along the way, but the system is the only one among many to have survived, albeit on a small scale, as a competitor of the U.S.-sponsored, pressurized, light-water reactor.

The Neglect of Heavy Water

The most serious fault in the program is the almost cavalier attitude that seems to have prevailed about the availability of heavy water, and the ease with which this vital product could be made available. (See Table 4-2 for a list of heavy-water facilities.) There seems little doubt that difficulties with heavy-water production and uncertainties about its price undermined CANDU's marketability at certain key moments. It certainly has had much to do with Britain rejecting the CANDU for light-water technology.

The neglect of heavy-water development is less surprising if AECL's mandate is perceived to be nuclear engineering. With hindsight and from a distance, AECL management in the 1960s can be forgiven if they faced inward and treated their mandate as a requirement to develop the CANDU system in the same way as NASA directed itself to place a man on the moon.

Table 4-2

Status of Canadian Heavy-Water Capacity

	Normal capacity	Status
	(Tonnes/year)	
Nuclear plants:		
Ontario Hydro		
Bruce HWP-A	800	– operating
Bruce HWP-B	800	– operating
Bruce HWP-C	(800)	– cancelled during planning stage
Bruce HWP-D	(800)	– 1/2 mothballed; 1/2 suspended
AECL		
Glace Bay HWP, Nova Scotia	400	– operating
Port Hawkesbury, Nova Scotia	400	– operating
La Prade, Quebec	(800)	– mothballed before completion

SOURCE Canada, Department of Energy, Mines and Resources, *Nuclear Industry Review: Problems and Prospects, 1981-2000* (1982), p. 12.

Atomic Energy of Canada Limited does not perceive its history that way. They believe their efforts were market driven rather than pushed by technology. According to an official brief, "R&D programs and schedules were determined by mission requirements" (Robertson 1984). Maybe so, but the choice of mission seems to have received precious little attention. From February 1959 until the mid-1970s, the mission seems to have been to develop CANDU in partnership with Ontario Hydro. Only during the past decade has AECL turned to the international market, and here the firm finds itself pre-empted. This marketing effort has been so half-hearted that one wonders to what extent it was undertaken by senior management seeking only to respond to pressures from government and firms manufacturing systems for the CANDU.

In short, commercial responsibilities were incidental to senior management, though necessary in order to maintain some business for manufacturers and some slight possibility of a return for taxpayers.

By 1976 it became evident that Ontario would not be ordering many more reactors. But until 1974 the demand for electricity grew at a rate of 7 per cent per annum, so that if CANDU could displace coal in Ontario alone, future prospects seemed substantial enough to maintain a reasonably large industry from Canadian sales alone.

Sims makes much of the research "syndrome," which gives the firm the confidence that its talented people can be diverted successfully to any technical problem. He may well be right, but it is just this "arrogance of talent" that is needed for a mission-oriented development project. Senior management remained true to its organizational constituency; to have done otherwise would have courted disaster on the home front in order to chase a "will o' the wisp" in the international market that might never have been realized.

Changes at AECL Since 1978

Since 1978, the President of AECL, James Donnelly, has altered corporate management policies to foster market orientation. The "Future Executive Criteria" of the company (Policy #20102, May 1984, p. 13) places market orientation in first place among a long list of qualities for managers. This is followed by general managerial qualities like leadership and interpersonal skills; a good team player; sensitivity to external issues; synthesis and strategic thinking; entrepreneurial ability; a change agent; and, lastly, routine professional and managerial competencies. Much emphasis is placed upon the manager's responsibility to bring along promising juniors. Of course, every organization will have an "informal" human resources

policy that may conflict with the formal structure. Nonetheless, the writer's interviews confirm that the policy has the full support of senior management, even if resistance is found in the ranks. Within the firm, James Donnelly seems to be appreciated for his managerial acumen, but he does not seem to command the same respect as his predecessors. This, of course, probably reflects a healthy tension that accompanies an effort to realign the structure and culture of the organization.

The Executive Performance Incentive Plan for senior management reflects a similar concern for bottom-line performance. The incentive standard is 15 per cent of annual salary. This standard can be withheld or exceeded, depending upon corporate performance and the individual's performance rating. Though hardly an enormous bonus in view of the relatively low salaries earned by the senior executives, it is a significant commitment to performance orientation.

Though AECL executive compensation is not in line with that of the Fortune 500 companies, it is reported to be equivalent to the salaries earned by executives in selected Canadian engineering firms, as collected by Hay and Associates. This is just a surmise on the part of the writer, but it may be that executives in Canadian subsidiaries of major U.S. corporations are not paid to be the driving force in a strategic management scheme. They still have some way to go to reach the centre of power in their organizations, and their salaries reflect the fact that less is expected of them. The same may be true of AECL executives, AECL being a branch operation of the Canadian government. Unfortunately whatever expertise there is in strategic management within the Canadian government, it is directed elsewhere.

Nonetheless the contrast between AECL before and after 1978 is impressive. Until 1978, top salaries were linked to civil service rates and vice-presidents earned a rate equivalent to an assistant deputy minister. Considering the high degree of compression in civil service ranks, serious compression must have existed between entry level engineers and senior managers. Thus, as with universities, all incentives are to stay in the ranks and to avoid upward mobility.

The crisis in the mid-1970s led the Board to reconsider salary policy and to recruit a president from outside. The new President, James Donnelly, has experience in international projects, among other things in the pulp and paper business and for General Electric (U.K.) as a project manager in the British nuclear industry. The Executive Vice-President comes from Control Data. Apart from higher salaries for executives, AECL moved to correct its weakness at the project management level. Commercial practices were adopted with substantial bonuses for performance. Presently AECL holds a 13 per cent share in a project management firm called "Nuclear Project Managers," which supplies project management on a contract basis. Evidently, project management has been a weakness that in the past tarnished AECL's reputation in Argentina, as well as on Canadian projects. Many analysts attribute part of this problem to the divided responsibilities for managing construction and designing the different components of the power stations.

Though salaries are not tied to those in the public sector, AECL's status as a Crown corporation has caused it to be subject to the Public Sector Compensation Restriction Act (the 6-5 program), and in recent years this has interfered with the operation of the executive compensation program described above.

The most significant departure in policy is the stress placed on "business opportunity development teams" – a sort of in-house "strategic business unit" that fosters commercialization of the rich human resource skills to be found especially in the Atomic Energy Research Company.

Evidence has not been collected on the success record of these teams, nor even on the rewards available to successful in-house entrepreneurs. There is, however, a distinct impression that the senior executives envision these teams as vehicles for energetic and gifted people to use in order to enjoy rapid promotion.

Certainly the emphasis is on capitalizing on existing resources in numerous small ways rather than on waiting for numerous CANDU orders to become a reality.

One problem the company faces is that entrepreneurship is usually a young man's endeavour. Most corporate spin-offs involve employees under 30 years of age. At AECL the personnel of the Research Company is aging. The company has operated at a static level for a decade and is hiring fewer young graduates than it used to.

In conclusion, until 1978 the organization was mission- rather than business-oriented. Management was not profit-oriented, and marketing and management training were unheard of. The company seems to have been guided by a determined mission, but its strategy as a commercial operation was poorly articulated. This is not to say that the implicit strategy adopted by AECL was not right for the times. It is simply that the strategy was vaguely expressed, and many outside AECL, including the government, may have had quite a different perception of what AECL was supposed to be doing.

Since 1978 the company has taken stock of a need to restructure itself if it is to survive a period of reduced government support for R&D and few, if any, new orders for CANDU reactors. Whether it can survive this period of drought is yet to be seen, but a casual observer walks away feeling that every possible avenue for change is being explored. Nonetheless, success in restructuring the organization will be an empty victory unless senior managers make some real headway in the firm's product market.

The Product Market

Diversification

The management of AECL is not now, nor has it ever been, sufficiently independent of external forces in the industry to be able to manoeuvre skillfully in the marketplace. To begin with, it is likely impossible for AECL to consider diversifying outside the domain of those powers conferred on the Minister of Energy, Mines and Resources by subsection (1) of section 10 of the Atomic Energy Control Act, thus opportunities for diversification as a means of spreading risk are limited. From the outset, the firm did expand into commercialization of the sale of cobalt and other isotopes for medical-treatment purposes. Unfortunately, and as might have been expected, profits from this source for support of the firm's central activities have only been available fleetingly as new entrants have developed alternative technologies and successfully challenged AECL's dominant position in this market. The response by AECL to this challenge was documented in Sims (1981) and is only of peripheral interest here.

Without much hope of diversification AECL management has necessarily become captive of the market for nuclear reactors. In the 1950s, only two domestic utilities were large enough to be potential buyers of AECL reactors. One of these, Hydro-Québec, proceeded with massive hydro developments, even at a time when nuclear energy was being touted as soon able to produce meterless electricity. Thus Ontario Hydro emerged as the only major buyer. One other sale has since been made to New Brunswick. At the moment, there is thought to be some potential in Quebec and the off chance that AECL may place a reactor or two in British Columbia and another one in the Maritimes.

Integration

On the supply side, AECL is almost alone in the world as a seller of nuclear reactors while not being an integrated manufacturer. Integration by the nuclear component manufacturers, backward into design and forward into marketing, was strongly recommended by Lortie and Schweitzer (1981) in a Secor Inc. report commissioned by the private engineering and manufacturing firms in the industry. Competition from the private sector is unlikely to threaten AECL because the immediate prospects for the industry are so poor that no private money will try to go it alone. At the very worst, AECL may, through manufacturer pressure on the government, lose some further independence by being forced into a joint venture.

At home, AECL is challenged by powerful and independent buyers (Ontario Hydro has virtually integrated backward into every phase of nuclear reactor design and construction except research), and by a weak but still potentially influential supply industry. Abroad, the firm faces active competition in open markets, while some major markets are closed to foreign producers. Nor is AECL even guaranteed the Canadian market. If a provincial hydro company were to opt for a U.S. light-water reactor, the political battle lines would be drawn, and it is far from certain whether AECL and the Canadian supply industry could win such a battle. Caught in this uncomfortable position, AECL management is "stuck in the middle," in an "extremely poor strategic position" (M. Porter 1980, p. 41).

Product-Market Strategy

In order to develop a particular product-market strategy, the firm must first answer two simple questions that are at the heart of any successful business strategy:

1) What are we selling, and to whom?

2) Who are our actual and potential competitors, and how are they positioned?

Though simple enough to ask, these questions are often overlooked and taken for granted.

Until recent years, insufficient information was available to determine the nature of the nuclear reactor market and therefore no one was able to answer the above questions. Strategists have had to act on assumptions, which amounted to "stabs in the dark." The leaders, in coming to grips with uncertainty, have been two U.S. firms and a thumbnail sketch of their business strategies, compared with those of the French nuclear program, provides a good starting point for analyzing the Canadian industry. Though in many respects, according to Bupp and Derian (1978), the U.S. nuclear program is the biggest failure of all, it remains the biggest, and by virtue of this,

dominates the world market in which AECL finds itself operating. Before turning to the foreign nuclear programs, we first outline the strategic options available to producers in this industry.

Strategic Roles – Cost Leadership; Differentiation; Focus

A strong strategic position is one in which the firm successfully establishes itself in one of the following roles – that is, as:

a) overall cost leader,

b) differentiated producer, or

c) focused producer.

A cost-leadership strategy may force a firm to enlarge its scope to include the world market. In those industries that enjoy significant economies of scale, return to standardization, or rapid economies from learning and experience, the industry will become a *global* one. The lowest cost producer will be the one that succeeds in operating at a scale that others cannot adopt. When a technology is new, many firms may seek the dominant position in world markets, but only a few can survive when the mature stage along the product-cycle curve is reached. Countries that assure themselves a domestic monopoly by protection may succeed if their market is sufficiently large and they compete effectively in export markets. If protection is real, in the sense that domestic producers are unable to sell abroad in competition with other suppliers, then the strategy fails and the domestic technology inevitably falls further behind.

Differentiation can be achieved along numerous dimensions, including quality perception. For products sold under brand names, differentiation is a strategy for finding a niche in the consumer's mind. For producers of industrial goods, especially those products sold infrequently and in large units, the differentiation strategy is more problematic, and buyers are likely to be as professional as sellers. When, however, information is scarce about both the product's performance and its reliability, there will be a tendency, even for professional buyers, to turn to the market to reinforce their analysis. Instead of relying on their own judgment, buyers will be prone to follow the leader and seek security through shared responsibility. This herd instinct, probably more influential on buyers in bureaucratic circumstances, favours the dominant firm in the market. Thus differentiation may not be a virtue, when a low-cost, large-scale producer is able to gain muscle in the market that smaller producers cannot displace. Nor is the buyer's instinct entirely irrational since the dominant technology will likely benefit from greater R&D effort and thus be more likely to remain ahead of its rivals.

The focus strategy involves both specialization and dedication to a particular segment of the market. When the mass producer must offer a homogeneous product, reduce service quality, and otherwise spread himself thinly, a firm may be able to exploit a profitable segment of the market despite being a higher-cost producer.

The U.S. and French Industries

Origins of the U.S. Industry

In 1951, Westinghouse began to build the first U.S. reactor for commercial power generation at Shippingport, Pennsylvania. Built together with a utility and supported by the U.S. Atomic Energy Commission, this reactor was a small demonstration unit. Orders began in earnest in 1955, but the expansion phase of the industry occurred between 1965 and 1968. All orders received until 1976 are listed in Table 4-3.

It is evident from Table 4-3 that when massive orders were placed, beginning in 1968, there was virtually no operating experience with a large nuclear station. In 1965, worldwide there were only 902 MW of installed capacity, all from stations begun prior to 1960.

The impetus for this spate of ordering was the Oyster Creek plant supplied by GE to Jersey Central and Light Company. The announcement in December 1963 of a plan to build a 515-MW light-water reactor for the first purchase to be justified as an "economic" decision, not just a developmental one. The capital cost of the plant was estimated at $100 per kW of installed capacity, and the capacity factor of the plant was forecast to be 88 per cent over the first half of the expected 30-year life of the plant. According to Jersey Central, nuclear would cost the equivalent of coal-fired power, with coal delivered at 20 cents/mbtu. At the time, Jersey was paying 29 cents/mbtu for coal.

Bupp and Derian (1978) documented how unsparingly the industry criticized the one spokesperson from the utility industry, Philip Sporn, who was skeptical about those figures. Even Sporn, however, stressed the improvements in coal- and oil-fired power generation that were still contemplated, rather than question the claims of nuclear reactor salesmen.

Until 1965, Westinghouse and General Electric sold eight reactors on a fixed-price turnkey basis (Table 4-4).

Table 4-3

Growth of Nuclear Power in the United States, 1955-76

	Initial number	Cancellation	Net amount	Number	MWe	Number installed	MWe
1955	5	–	5	–	–	–	–
1956	2	–	2	–	–	–	–
1957	2	–	2	–	–	–	–
1958	3	–	3	–	–	–	–
1959	1	–	1	–	–	–	–
1960	–	–	–	1	200	1	200
1961	1	–	1	1	175	2	375
1962	1	–	1	1	265	3	640
1963	4	–	4	1	140	5	780
1964	–	–	–	3	50	8	830
1965	7	–	7	1	72	9	902
1966	21	–	21	1	90	10	992
1967	31	–	31	1	40	9	1,004
1968	16	–	16	2	1,025	10	2,007
1969	8	–	8	2	1,260	12	3,267
1970	15	1	14	3	1,796	15	5,036
1971	21	1	20	6	3,615	21	8,678
1972	38	5	33	8	5,673	29	14,351
1973	37	5	32	7	4,513	36	18,864
1974	33	11	22	11	9,527	46	28,351
1975	4	6	–2	10	8,837	56	37,188
1976	3	10	–7	3	2,627	59	39,815

SOURCE David W. Montgomery and James P. Quirk, "Cost escalation in nuclear power," National Science Foundation (Pasadena: California Institute of Technology, 1976).

Table 4-4

Estimated Losses on Nuclear Reactor Turnkey Projects*

	Reported cost	Estimated cost	Estimated loss
		($ Millions)	
General Electric			
Oyster Creek	91	170	79
Dresden 2, 3	230	413	183
Millstone	97	182	85
Quad Cities 1, 2	250	448	198
Monticello	105	168	63
Total	773	1,381	608
Westinghouse			
San Onofre	97	131	34
Ginna	83	161	78
Robinson	78	179	101
Point Beach 1, 2	128	329	201
Connecticut Yankee	92	149	57
Total	478	949	471
Combined total	1,251	2,330	1,079

* U.S. Atomic Energy Commission Report # WASH. 1345 (October 1974), entitled *Power Plant Capital Costs* and cited in Montgomery and Quirk (1976).
SOURCE Montgomery and Quirk, "Cost escalation in nuclear power" (1976).

By 1967, U.S. utilities had placed orders for 75 reactors, totalling 45,000 MW of capacity, from four U.S. manufacturers. After the first eight orders, vendors stopped offering turnkey projects; henceforth risk was shared with the utilities. Nonetheless, competition was severe, and many selling techniques to make reactors attractive to utilities were used. For instance, Westinghouse offered to supply uranium to reactor customers at a fixed price for the life of the equipment. The consequences of this offer are well known (see Joskow 1977), because of the failure of Westinghouse to supply and subsequent court proceedings.

The actual capital costs of plants entering service in 1975 were about three times higher in real dollars than those sold on a turnkey basis (Table 4-5). Many believe that this increase was due to poor forecasting, combined with "loss leadering" on the part of GE and Westinghouse. But Montgomery and Quirk (1976) concluded that the increase was due to a combination of bottleneck problems in the nuclear industry, which expanded too quickly, and regulations that delayed construction and added costs. Until 1970 the bottleneck problems predominated, leading, after 1967, to a 30 per cent annual rate of increase in labour costs and a decrease in labour productivity. This rate

Table 4-5

Capital Costs of Nuclear Units Coming on Line in the United States, 1968-74

		FPC*			AEC†		
			Capital cost			Capital cost	
		MWe	Total ($ Millions)	per kilowatt (Dollars)	MWe	Total ($ Millions)	per kilowatt (Dollars)
Average by year:							
1968							
T	Connecticut Yankee	600	91.8	153	575	95.0	165
T	San Onofre	450	80.9	180	430	98.0	228
	Average	525		164	503		192
1969							
NT	Nine-Mile Point	620	162.2	262	610	151.0	247
T	Oyster Creek	550	89.9	163	530	83.0	157
	Average	585		215	570		205
1970							
T	Dresden 2	810	92.3	114	809	94.0	116
T	Ginna	517	83.2	161	420	65.0	155
T	Millstone	662	96.8	146	652‡	92.0‡	141‡
T	Point Beach 1	524	74.0	141	497	61.0	123
	Average	628		138	575‡		127
1971							
T	Dresden 3	810	103.8	128	809	100.0	124
T	Robinson 2	769	77.8	101	700	76.0	109
T	Monticello	569	105.0	185	545	89.0	163
NT	Palisades	812	146.7	181	700	118.0	169
	Average	740		146	681‡		139‡
1972							
T	Point Beach 2	524	71.4	136	497	54.0	122
NT	Vermont Yankee	514	172.0	335	514	154.0	300
NT	Pilgrim	655	231.5	353	644	120.0	186
NT	Surry 1	847	146.7	173	788	251.0	319
NT	Turkey Point 3	760	108.7	143	693	119.9	159
T	Quad Cities 1, 2	1,657	200.1	121	1,600	250.0	156
	Average	708		188	693		217
1973							
NT	Surry 2	848	250.2	295	788	149.0	189
NT	Turkey Point 4	760	122.5	161	693	106.0	153
NT	Zion 1	1,089	276.0	251	1,050	262.0	249
NT	Maine Yankee	830	219.2	264	790‡	263.0‡	333‡
NT	Prairie Island 1	593	233.2	393	530	200.0	377
NT	Fort Calhoun	481	173.9	361	457	175.0	383
NT	Oconee 1	887	155.6	176	886	163.0	184
T/NT	Indian Point 2	1,013	206.1	203	873	212.0	242
	Average	814		251	753		240
1974							
NT	Arkansas Nuclear 1	902	233.0	258	850	239.0	281
NT	Arnold	566	202.2	357	535‡	277.0‡	518‡
NT	Zion 2	1,098	289.9	264	1,050‡	271.0‡	258‡
NT	Prairie Island 2	593	172.2	290	530	200.0	377
NT	Cooper	835	246.3	295	778	296.0	380
NT	Peach Bottom 2	1,152	628.5	546	1,065	537.0	504
NT	Three-Mile Island	871	398.3	457	819	406.0	496
NT	Oconee 2	887	320.8	361	817	160.0	184

Table 4-5 (concl'd.)

		FPC*			AEC†		
			Capital cost			Capital cost	
		MWe	Total	per kilowatt	MWe	Total	per kilowatt
			($ Millions)	(Dollars)		($ Millions)	(Dollars)
NT	Kewaunee	535	202.2	378	541	201.0	372
NT	Peach Bottom 3	..§	..§		1,065	226.0	212
NT	Oconee 3	..§	..§		871	166.0	191
	Average	827		362	821		329

* FPC = Federal Power Commission.
† AEC = Atomic Energy Commission.
‡ Millstone is classified as a 1971 unit by AEC and appears in 1971 averages; Zion 2 and Arnold are classified as 1975 units; and Maine Yankee is classified as a 1972 unit, and appears in 1972 averages.
§ Not shown in 1974 FPC.
NOTE T = turnkey; NT = non-turnkey.
SOURCE Montgomery and Quirk, "Cost escalation in nuclear power" (1976).

outpaced the rate of inflation, which was modest during the late 1960s.

The heavy purchasing of nuclear reactors by utilities was a rational decision. Electricity demand was then growing at a rate of 7 per cent per year. By ordering nuclear stations, utilities were simply diversifying their expanding sources of generating capacity. As regulated firms, they were predisposed to favour high capital costs by a regulatory system that was bound to award rate increases in relation to the growth of a rate base. Coal and oil generation capacity continued to grow, but utilities took the precaution to backstop themselves should the promise of nuclear power be realized. At the same time, new mining and environment legislation threatened higher coal costs, which in fact drove coal prices up in 1969, well before OPEC's pricing moves. Furthermore, the U.S. protected its oil industry so that oil was at least twice as expensive inside the United States as outside.

The Decline of Demand for Nuclear Reactors

Thus, with still no operating experience to rely upon, U.S. utilities continued to place orders in large numbers until 1974. The OPEC crisis in 1973 seemed to add impetus to the industry, but the extra demand soon disappeared. This is because by 1974 the 46 stations ordered prior to 1966 were operating, and 28,351 MW of installed capacity were in place. Operating experience failed to live up to prior expectations. The capital costs for nuclear power were about three times those forecast or at least twice those forecast after taking inflation into account. Furthermore, the actual operating rates of nuclear plants did not achieve the forecast rate of 88 per cent, uranium prices skyrocketed, and maintenance was more expensive than that for a similar-sized coal station. All these factors together have caused electricity from the present generation of U.S. nuclear plants to cost between 10 and 12 cents per kilowatt hour in 1982 dollars. (Flavin 1974*b*, p. 192). This is reported to be 65 per cent above the cost of coal-fired plants, though the basis for this conclusion is not reported. Also, the demand for nuclear reactors virtually disappeared when it became quite clear that electricity demand would not be growing at the same rate as prior to 1973. As a result, since 1975, cancellations have outnumbered orders for nuclear reactors. The present sad plight of utilities trying to complete stations that were ordered prior to 1975, while faced with high real interest rates is too well-known to bother reviewing here.

The Influence of the U.S. Program Abroad

Outside the United States, oil prices continued to drop in both nominal and real terms until 1970. In Europe there was greater concern for safeguarding markets for coal than for allowing nuclear power to displace it. Nuclear developments therefore remained largely experimental and government-supported with an eye, first, to scientific pursuits and, second, to national prestige, and only inadvertently at then current economics.

By 1970, the love affair between U.S. utilities and nuclear reactors, though essentially based upon expectations, was having some impact abroad. To exploit this interest, Westinghouse and GE founded subsidiaries abroad and also licensed foreign producers. The major impact on world markets, however, is due to French initiatives. Britain went its own way, based on great foresight about

the weaknesses of the U.S. program. Despite this, it could not avoid failure in its own program. Germany developed its own light-water reactors, which are proving to be among the most reliable in the world.

Experience in all three countries is relevant to evaluating Canada's program. Burns (1980) has contrasted failure in the U.K. program with success in the U.S. program and attributed this to the different roles of public and private enterprise. But Bupp and Derian (1978) concluded that this was not the case; they believe that the U.S. program turned out to be the biggest failure of all. In contrast, the French, it is claimed, have organized things logically and are succeeding. This conclusion flows from the projection of those in the nuclear industry who are confident that central authority, combined with technological optimism, can conquer the world. The fact is that it is too early to say whether the French program will be successful or not, even though oil prices have unexpectedly skyrocketed since the French first committed themselves to the nuclear option.

French Success or Failure

Because the drop in electricity consumption is worldwide, France is also having trouble with its program. By committing itself to a single reactor design and prescheduling domestic orders, France hoped to reduce costs. The industry geared up to produce six reactors per year. Today however, no new reactors are needed. To support the program one unit was ordered in 1984 and another in 1985. Neither is needed. Furthermore, reactor performance is not up to expectations. The French strategy has built in rigidity which may well outweigh any of its benefits. Already Électricité de France (EDF) is closing down modern coal-fired stations and subsidizing electricity consumption. In France, the pressurized light-water reactor was selected as the single technology to be developed over all other types, but not following a rational analytic evaluation. The outcome emerged from a highly irrational interagency conflict. In the end, EDF won the day because of the willingness of its chairman and influential president to resign in order to back up EDF's position. Thus EDF succeeded in displacing CEA – a government agency similar to AECL. Had Ontario Hydro decided to go with a light-water option, the same sort of conflict could have transpired here. By 1974, after OPEC, the program was expanded, and Westinghouse's licensee (Creusot-Loire subsidiary, Framatome) was selected as the exclusive producer for the French market (see Vernon [ed.], 1974, p. 104).

The French decision gave an enormous boost to pressurized light-water reactors. By 1977 General Electric was reported to be curtailing its sales efforts for boiling-light-water reactors. Framatome, the French producer, looked as if it would be able to lower the costs of production by standardizing units and selling those standard units abroad as the "low-cost" producer.

The French have succeeded in articulating a firm business strategy, and they seem to have the will to proceed with it regardless of what other rivals may choose to do. They have thereby achieved a unity of purpose that has escaped other nations' industries. Their scientific effort is devoted to the breeder-reactor program, which they believe will largely replace the light-water reactor in some 20 or 30 years' time. In the meantime, their engineering skill is being applied to reduce the cost of producing a generation of light-water reactors at the rate of about six units per year. It is reported that the French light-water reactors cost about $1,000/kW excluding the interest cost during the construction period. This is thought to be about 30 per cent below the capital cost of a CANDU reactor.

The Canadian Product-Market Strategy for the CANDU

Nuclear power moved quickly through development and demonstration to the dissemination stage. Table 4-6 (DeLeon 1980, p. 299) shows how important timing can be. The United States was seven years ahead of the rest of the world in the demonstration stage and about four years ahead in the commercialization and dissemination stage of the technology. But nuclear reactors take between six and ten years to build, and there are further delays in acquiring operating experience with the reactor. Thus the U.S. time advantage is small relative to the time period for reactor construction.

Though Canada moved its program rapidly, some think too rapidly, it still missed the major period of ordering in the United States, which lasted from 1966 to 1974. As luck would have it, Pickering was not in place soon enough for CANDU to take advantage of the orders in 1973 and 1974 that were stimulated by the OPEC crisis. Once Pickering's excellent operating experience became better known, the growth of the demand for electricity had clearly declined and with it went much of the market for nuclear reactors.

Little Emphasis on Export Marketing

In the writer's judgement, until 1975, AECL had not considered foreign markets important to the development

Table 4-6

International Comparison of the Timing of Nuclear Technology (Development, Demonstration, and Dissemination)

		Development stage	Demonstration stage	Dissemination stage
United States				
PWR	1947	Shippingport (1951)	Yankee-Rowe (1961)	Yankee-Haddam (1968)
BWR	1947	Vallecitos (1967)	Dresden (1960)	Oyster Creek (1969)
West Germany				
PWR	1955		Obrigheim (1969)	Stade (1972)
BWR	1955	Kahl (1962)	Grundremmingen (1966)	Wurgassen (1972)
Soviet Union				
LWGR	1949	Obinsk (1954)	Beloyarsk 1-2 (1954-67)	Beloyarsk 3-4 (1971-72)
PWR	1949	"Lenin" (1956)	Novovoronezh 1-2 (1954-69)	Novovoronezh 3-4 (1971-72)
BWR	1949	Melekess (1962)		
Canada				
HWR	1945	NPD (1962)	Douglas Point (1967)	Pickering 1-4 (1971-73)
France				
GGR	1949	Marcoule G2, G3 (1959-60)	Chinan 2-3 (1965-67)	St. Laurent 1-2 (1969-71)
PWR			Chooz (1967)	Fessenheim 1-2 (1976)
England				
GGR	1946	Calder Hall (1956)	Magnox Reactor (1962-71)	1965
AGR		Windscale (1963)	Dungeness B (1976) 1974	
SGHWR		Winfreth (1967)	1978	

NOTE PWR – Pressurized-Water Reactor.
BWR – Boiling-Water Reactor.
LWGR – Light-Water Graphite Reactor.
HWR – Heavy-Water Reactor.
SGHWR – Steam-Generating HWR.
GGR – Gas Graphite Reactor.
AGR – Advanced Gas Reactor.

SOURCE P. DeLeon, *Development and Diffusion of the Nuclear Power Reactor: A Comparative Analysis* (Cambridge, Mass.: Ballinger Publishing, 1980), p. 299.

of the CANDU. During the 1960s and 1970s, the forecasts of Ontario's electricity demand alone seemed to indicate a bright future for the CANDU should its development be successful (Chart 4-1).

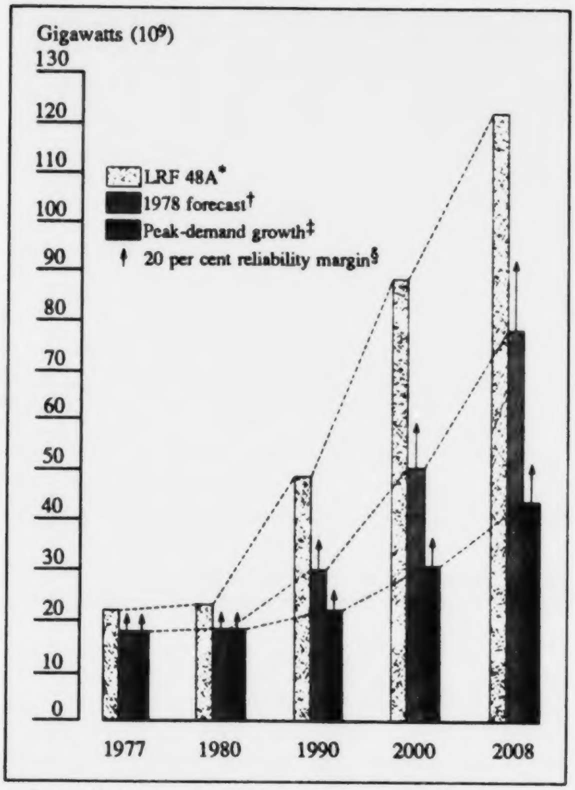
As late as October 1975, Ontario Hydro announced plans to spend $19 billion, mostly on expanding nuclear facilities over 10 years. As part of its long-range forecast (LRF 48A), it projected 29,000 MW between 1990 and 2000, and 39,000 MW more to 2008. Thus Ontario alone would be providing about 80,000 MW of additional electricity over 30 years. This averages out to about 2.7 GW per year, or the equivalent of four and a half 600-MW stations each year.

This level of ordering is just about what the present capacity of the Canadian nuclear industry can handle (see Table 4-7). If the then expected Quebec demand were added to these Ontario forecasts, the domestic industry would have needed to be expanded considerably more. Thus, without a single export order, the Canadian nuclear industry seemed to be well positioned for a long period of self-sustaining if modest growth. By the time the expansion phase to 2008 would have been completed, old reactors would need to be dismantled and replaced. Optimists for the CANDU saw it outlasting the light-water reactors (LWR) because the CANDU can, like the breeder reactor, be adapted to use plutonium recovered from other reactors and thorium instead of uranium. If the breeder reactor technology were to falter or should the price of uranium remain modest, an improved CANDU could have a bright future for a very long time.

The above forecasts of Canadian demand for nuclear reactors date from 1975. In 1974, AECL was forecasting Canadian demand of 130 GW by the year 2000 (Lortie and Schweitzer 1981, p. 38). On that scale, nine 600-MW reactors a year would be in production for the Canadian

Chart 4-1

Ontario East System Capacity and Peak-Demand Scenarios



* Ontario Hydro, Long-Range Forecast 48A, 1975, for installed electrical capacity.

† Ontario Hydro, forecast of peak demand, 1978.

‡ Ontario Hydro, 1980 demand forecast is for growth at 3.4 per cent per year.

§ For illustrative purposes we have added 20 per cent to peak-demand figures to yield an installed-capacity figure. Cf. 1977 figures.

SOURCE Adapted from Royal Commission on Electric Power Planning, Interim Report, *A Race against Time* (Toronto, 1978), p. 32; see also C. A. Hooker et al., *Energy and the Quality of Life: Understanding Energy Policy* (Toronto: University of Toronto Press, 1981), p. 55.

market alone. The difference between the 1974 and 1975 forecasts is the result of a drop in the growth rate of demand for electricity from over 7 per cent per annum to just about 5 per cent. The actual decline was much sharper, but there then remained some uncertainty as to how long the growth rate would remain below the trend established over the previous two decades. By 1979, AECL was forecasting Canadian demand to the year 2000 of between 25 and 65 GW. It is today clear that Ontario will not likely add any additional capacity beyond the Bruce and Darlington plants unless coal prices explode upwards, so the low end of the 1979 forecast is fairly certain not to be exceeded in Canada unless demand for electricity in Quebec increases and the cost of remaining opportunities for hydro developments becomes unattractive.

In 1974, AECL expected worldwide demand to the year 2000 to be 40,000 GW; it was revised downwards in 1977 to 1,543 GW. As of 1974, if CANDU were to capture just 5 per cent of the world market, AECL could have expected to sell more than 130 of the 600-MW units per year for 25 years. In 1977, to capture 5 per cent of the market would have meant that worldwide sales would amount to only five per year. (For market-share data, see Table 4-8.)

At this time, five sales per year would appear to be the salvation of the CANDU project, but the 1979 projection turns out to have been wildly optimistic. By 1982, a review of the nuclear industry by Energy, Mines and Resources (EMR) made it clear that there was a real possibility that there would be no new domestic or foreign orders for the CANDU for the next decade. Today, however, there is a possible sale of one reactor to Turkey, and it is in an advanced stage of negotiation.

In 1980, Canada had the capacity to produce nuclear reactors with a total rated capacity of 3 GW per year, just about 5 per cent of world capacity and in line with Canada's share of the world market. In contrast, U.S. firms have about 25 GW of capacity in place, and their sales prospects are as poor as those for the CANDU (Lortie and Schweitzer 1981, p. 140).

It is difficult to imagine today that in the early 1970s the risk associated with CANDU developments was focused on success in technical development rather than in marketing. With the Tennessee Valley Authority claiming that nuclear power was cheaper than coal-generated power, even in the coal fields, how much truer would this appear to be in Ontario where coal is virtually all imported from the United States? Nor was the TVA making a casual assessment; it backed up its analysis by ordering two giant light-water reactors. From AECL's vantage point the worldwide market had been created by U.S. marketing efforts, and a small niche for the CANDU was more than sufficient to rationalize the Canadian R&D effort. The partnership with Ontario Hydro assured for CANDU its most important market; all other sales were gravy.

Certainly the above strategic considerations explain why AECL ceded the world market to CGE until 1968. In the late 1960s the "only game in town" was building Pickering and hopefully demonstrating its capabilities.

Table 4-7

Estimated Worldwide Utilisation of Nuclear Reactors Production Capacity in the 1980s

	Manufacturing capacity of installed reactors	Estimated wattage likely to be ordered in the 1980s	Domestic workload that is likely to exist*
	(GW per year)		(Per cent)
Canada	3	0.5–1.0	16–33
France	7	3–4	43–57
West Germany	6–8	1–2	12–33
Japan	6	3–4	50–57
Sweden	1–2	0–0.5	0–50
Britain	1–2	0.5–1.5	50–100
United States	25–30	2–7	7–28
Export markets	–	4–6	8–20†
Total	49–58	14–25	24–51

* Share of total capacity being utilized by domestic nuclear reactor construction.
† Percentage of capacity left after domestic orders are met.
SOURCE P. Lortie and R. Schweitzer, *A Strategy for the Development and Strengthening of the Canadian Nuclear Industry* (Montreal: Secor Inc., March 1981).

Ordered in 1964, just shortly after GE's Oyster Creek announcement, the two 500-MW stations were being built at Pickering at a time when information about the costs of production and operating experience for light-water reactors was as scarce as that pertaining to heavy water (DeLeon 1980, p. 171).

No one would have imagined that the wild spree of purchases by U.S. utilities between 1966 and 1974 was to be the final phase of the market. These orders were placed without any more knowledge of operating and capital costs about the LWR than was available for the CANDU. It appeared that as long as CANDU's costs could be compared to those of the LWR, the market opportunity would remain enormous.

Strategically, then, throughout the 1960s, AECL focused its resources and energy on completing Pickering and establishing the CANDU systems. There was no need to look too far ahead in order to establish a strong presence in the international market; that market was minor and would not develop until the 1970s, when oil prices would have stopped falling and both coal and oil prices were expected to rise.

Failure to Sell in the Booming U.S. Market

Why, then, did CANDU not benefit from the ordering binge in the United States during the 1967-74 period? The writer did not come across a single contemporary account suggesting that AECL should seek a U.S. utility customer. Atomic Energy of Canada Limited decided to place all of its eggs in the domestic basket and to look for an occasional sale in Third World countries. Between 1968 and 1972, bids reported to have cost just $1 million each were offered by AECL in Romania, Mexico, Australia and Greece (Canada, EMR 1981*b*, p. 265). Excuses for Canada's marketing failure are legion, but it seems clear that during the 1960s Canada's position was undermined not by any lack of expertise in marketing, upon which so much attention has since been showered, but by two more basic factors: the uncertainty over the cost of producing heavy water; and the delay in making the demonstration reactor at Douglas Point opérational.

Heavy Water in Canada's Marketing Failures

During the 1960s heavy water was selling commercially for about $30/lb. Since CANDU requires about one long

Table 4-8

Share of the Nuclear Reactor Market, by Vendor, 1980

	Domestic	Foreign*	Total	Foreign as a proportion of total reactors
				(Per cent)
	Number of reactors in operation			
Westinghouse	26	13	39	33
Framatome	12	1	13	8
General Electric	25	14	39	36
KWU	7	3	10	30
Combustion Eng.	7	–	7	–
Babcock & Wilcox	9	–	9	–
Canada	10	2	12	17
	Number of reactors under construction or on order			
Westinghouse	33	33	66	50
Framatome	39	8	47	17
General Electric	26	17	43	39
KWU	12	7	19	36
Combustion Eng.	8	–	8	–
Babcock & Wilcox	7	–	7	–
Canada	13	3	16	19

* Including joint ventures.
SOURCE Lortie and Schweitzer, *A Strategy for the Development and Strengthening of the Canadian Nuclear Industry* (1981).

tonne per MW of electricity, at $30/lb. the initial charge for a 600-MW CANDU would work out to $40.3 million or about $67/kW. Since the U.S. light-water reactor manufacturers were at the time promising capital costs in the range of $125 to $130 per kilowatt, the initial charge for heavy water alone would have been half the cost of a light-water reactor. *Nuclear Engineering International* devoted a full issue to heavy water (see "Heavy water: Special issue" June 1966, pp. 11 and 121). Evidently, problems encountered in producing heavy water would not have escaped the industry's notice. That those circumstances were not quickly overcome was made clear by DeLeon (1980, p. 169); who reported heavy-water prices as high as $50 in 1975.

Canada was forecasting that increased scale would drive the price of heavy water down to $14/lb. by the mid-1970s. At $14/lb., the initial heavy-water charge would be reduced to $30.80/kW, or about 20 per cent of the then forecast price of a light-water reactor. Considering the overwhelming importance of heavy water in the Canadian nuclear development program, the almost cavalier attitude towards the difficulty in producing heavy water reflects poorly on the whole program and on AECL in particular. Apparently, technology for heavy-water production did not seem as glamorous a field to develop as the reactor field. It was left to outsiders, affected by regional and nationalistic emotions. Atomic Energy of Canada seems to have dismissed normal caution about the difficulties of upscaling a design from a small plant to a large one.

The expense to a CANDU buyer for heavy water was critical to CANDU's success, not only because it raised the initial capital cost but also because many in the industry doubted that the CANDU system could be made sufficiently leakproof. If a considerable amount of heavy water were to leak into the containment building, then additional heavy water would be needed during operations. Atomic Energy solved the leakage problem, and now very little heavy water is needed beyond the initial fill. But during the 1960s and early 1970s there was every reason to be skeptical on that account.

Delays in Completing a Demonstration Plant of Commercial Scale

The second factor that hindered CANDU sales during the boom years for reactor sales was the delay in bringing the Douglas Point reactor into operation. Here, the weaknesses in allowing a research organization to dominate a commercial enterprise seems to have come into play. For instance, one of the sources of delay was the failure of a

fuelling machine that had been redesigned by AECL during construction of the Douglas Point reactor, which was Canada's demonstration stage reactor completed three years behind schedule in 1967. The fuelling machine is a critical piece of equipment that enables CANDU to be refuelled without any downtime for the reactor. Rods are removed from and inserted into the reactor while it remains in operation. A senior, now-retired CGE official explained to the writer how CGE had successfully developed a fuelling machine for the NPD reactor. AECL decided to change the design, which later turned out not to work as expected. It took two years of work, with help from CGE, to make the new machine operational. Doubtlessly, this was not the sole reason for the Douglas Point reactor being almost three years late coming on stream. Nonetheless, the weakness of project management, combined with a desire to experiment, certainly delayed the project. Indeed, the decision to exclude CGE from the design and construction of the Douglas Point reactor is open to question on various grounds. Had the Douglas Point reactor operated successfully in 1964 and had heavy water become available at reasonable cost, it is likely that CANDU could have become a major player in world markets. In those circumstances, all efforts should have been made to get that reactor on stream in timely fashion instead of taking major risks in redesigning it during the construction phase of the project.

Ontario Hydro's Influence

The shutting-out of CGE from the design and construction of larger reactors in Ontario is frequently blamed on Ontario Hydro. Hydro took on responsibility for the conventional side of the generating station and preferred to deal with AECL as the designer. It is argued that Hydro wished to avoid becoming dependent upon a single supplier of nuclear stations, or even of components for the reactor. But whatever Hydro's intentions were, AECL seems to have proceeded without any consideration having been given to the strategic consequences of the move. The outcome is that AECL is one of the few vendors of nuclear reactors in the world that is also not integrated into manufacturing the basic components of its system. To some – Secor Inc., for instance – this is a paramount weakness in the Canadian marketing program.

Atomic Energy of Canada Limited can be excused for having acquiesced to Ontario Hydro's preferences; the latter held all the cards, being the only utility willing to co-finance reactor development. In 1964, when Pickering was ordered, Ontario Hydro and the Ontario provincial government contributed 40 and 27 per cent of the cost, respectively. Under those circumstances, vaguely hoped-for future market opportunities could hardly be expected to be able to compete with the initial financial support from Ontario.

The year 1964 was the heyday for fixed-price turnkey projects in the United States. Ontario Hydro might have opted for a U.S. light-water reactor on a turnkey basis; and CGE was willing to bid, on a fixed-price basis, for the Pickering contract but was advised that its bid would not be welcome. Instead, Ontario Hydro – in partnership with AECL and the provincial government – agreed to accept the risks of developing CANDU.

The CANDU suited Ontario because the manufacturing of components would largely be done within the province. The key component of the rival light-water reactor (the LWR) is the stainless steel calandria, which would have had to be imported into Canada. Thus, for Ontario, CANDU offered the prospects of increased domestic manufacturing, together with the efficient expansion of generating capacity. Though a deal could have been struck for domestic production of some of the components for the LWR, the biggest items and the engineering work would have had to have been imported.

Summary

We have seen that during the crucial expansionary period for the U.S. reactor industry – that is, between 1966 and 1974 – AECL was tied to a domestic market strategy. This is partly explained by its financial dependence upon the federal government and, its organizational preference for research and development but principally by its product market.

In the product market, AECL presumed that industrialized countries would exclude Canada from their markets. This was certainly a reasonable assumption, consistent with prior experience with protection in the conventional electricity-generating industry (see Burn and Epstein 1972). At the same time the United States, United Kingdom, France, and Germany were each spending far more than Canada on R&D and would be unlikely to open their borders to an imported technology. Third World countries were not major consumers of energy; they used proportionally less electricity, and their electrical networks could not support an extremely large nuclear station. In any event, competition for sales at marginal costs by industrial countries might make sales to Third World countries break-even propositions at best. It has turned out that all such sales by Canada have indeed been made at subsidized export financing rates, and the social return from such sales to the exporting nation is probably negative.

However reasonable these assumptions about market opportunities may have seemed, AECL can be faulted for not having tested those limits. Possibly along with CGE, they could have made an effort to sell reactors in the U.S. market during the 1965-74 boom.[1] Given the rush into nuclear power in the United States, regulatory roadblocks would likely have been surmountable during the early years of the period, certainly before 1970. In order to win a sale, however, CANDU would have had to offer a U.S. utility a turnkey project at a price that was no worse than that offered by U.S. reactor companies. Since the U.S. reactor manufacturers stopped offering turnkey projects in 1967, a door was left open through which a bold move might have been enormously rewarding. The sale of a Pickering-type CANDU unit in the United States to a U.S. utility would have made a real impression abroad during that critical period when operating experience was unavailable for any of the competing types of reactors. A turnkey sale in the United States would also have demonstrated AECL's confidence in its ability to acquire or produce heavy water, thereby overcoming a major hurdle in any effort to win over foreign opinion in favour of CANDU.

Instead, AECL has paid the price of being dependent upon a single market that unexpectedly evaporated. We have seen that the domestic market seemed, until 1975, to be more than adequate to support CANDU's research and development costs. But by having stayed out of the U.S. market and having failed to change the perception of CANDU at that critical time, AECL has lost its options. Since then, German, French and U.S. producers of light-water reactors have become so firmly entrenched in international markets that the odds are now against any revival of CANDU.

The Nuclear Reactor Business: Is it Necessarily a Global Industry?

Michael Porter (1980) defined a "global industry" as one in which the domestic-market position of the firm significantly improves its selling position in foreign markets. A more rigorous definition would require that a global industry be one in which no single national producer could compete at home with those rivals selling globally. By that definition, the nuclear industry was not a global industry before 1975; nor was it clear that it would ever become one.

The Experience Curve

Hopes were high for experience-curve benefits and scale economies, but the growth of the world market was expected to outpace any economic advantage that a dominant producer might gain. Whether reduced costs flow from learning is debatable; real costs have risen over time for a variety of reasons. Joskow and Rozanski (1979) found that the experience curve is real but that the shift from smaller (500- to 600-MW) to larger (1200-MW) units was accompanied by a disproportionate increase in unit prices; see, also, Zimmerman (1982). According to Joskow and Rozanski, continuous experience with a 600-MW reactor brings down costs, as does experience in building a 1200-MW reactor, but the experience gained on a 600-MW reactor does not transfer well when the jump is undertaken. Upscaling reactor size has caused more difficulties than previously anticipated; and experience has not all helped to reduce costs. Unforeseen safety problems have led to modifications, which in turn have caused capital costs to surge upwards. Komonoff (1977), in a study that has shattered the industry's confidence, found that *real* construction costs in the United States between 1971 and 1978 rose by 13.5 per cent annually. In 1982 dollars, new nuclear plants in the United States will cost an average of $2,000 per kilowatt. In Germany, capital costs rose sixfold between 1969 and 1982. That is about twice the rate of inflation. Ontario Hydro's construction costs were reported by DeLeon to be $1,700/kW, up from $400/kW in 1972, a *real* rate of increase of 6 per cent per year (other figures for 1981 vary between $1,070 and $1,350 per kW). Though that is half the rate of increase reported by Komonoff for the United States, the performance is still poor. Whatever learning and experience curve advantages Joskow was able to isolate were swamped by the rapid rise in costs, which has far outpaced the rise in the cost of building a coal-fired generating station. Given the large share of reactor expenditures committed to local construction, which is sensitive to local conditions, the nuclear reactor business is not a global business by virtue of potential economies of scale. Trying to be a low-cost producer is worthwhile, but it is not likely to be achieved simply by expansion.

Reputation and Credibility

The nuclear reactor industry may still be a global industry, despite the absence of significant economies of scale in production, rapid learning effects that push down costs, or advantages in acquiring inputs. That is because reputation and credibility are global in nature for industries that are in an emerging phase. At an early stage of the product cycle, buyers are first-time buyers, and the first sale could lead to a significant amount of repeat business. The initial sale is therefore the tough one. All rivals will have a similar inducement to discount in order to capture a new customer and thereby attract future repeat orders. Another factor that weighs in favour of describing the

nuclear reactor industry as global, is that the perceived likelihood of obsolescence is particularly crucial in the market for capital goods. A global strategy may help dispel the potential customers fear over the risk of obsolescence. A producer in a small market may be unable to overcome the psychological advantage that accrues to the larger producer.

Global success encourages the belief of the potential buyer that his choice of technology will give him access to enjoyment of future improvements that inevitably seem to accrue to new technologies. On the other hand, once committed to a technology – even one that turns out to have poor prospects – it may become expensive to shift models. Training costs will have been incurred and an infrastructure will have already been put in place. For instance, buyers of light-water reactors may have built enrichment facilities, whereas users of heavy-water reactors may have invested in heavy-water production. Apart from that, different reactor types may induce applied research on local problems related to material handling and waste disposal that do not transfer readily between technologies.

Therefore, it appears that the nuclear reactor business is, by its nature, partially a global business but not exclusively so. Being a small producer need not necessarily lead to an enormous cost disadvantage in this still largely custom-made business; it is, however, increasingly likely to foreclose opportunities for export sales. This optimistic conclusion for CANDU's prospects is, however, based upon past experience and a growing market; there is nevertheless the real danger that greater R&D expenditures by others will make CANDU obsolete.

Differentiation of the CANDU

The CANDU is distinguished from its rivals by the following featured factors:

– on-line fuelling and thus, theoretically, high plant availability;

– no need for enrichment;

– heavy-water moderation and cooling;

– no need for a pressure vessel and thus relative ease in manufacturing; and

– the natural safety advantage provided by the large dump of heavy water.

The CANDU suited Canada because after the war the United States monopolized facilities for the enrichment of uranium. A heavy-water design was a means of competing without access to enrichment. Reinforcing this was the possibility of avoiding the building of a large pressure vessel, with which Canadian industry was then, and still is, unprepared to cope. The initial design of the NPD reactor called for a pressure vessel, which was ordered from the United Kingdom and remains unutilized because it was made obsolete by a design change that favoured using tubes for CANDU reactors.

But all of those features, which were thought until recently to be in CANDU's favour have lost their advantage. The United States no longer monopolizes enrichment facilities. New technologies are being developed for enrichment, which might have been expected to follow from the successful commercialization of light-water reactors. Heavy-water research continues but outside Canada, the interest in heavy-water development is mute. Global success of CANDU commercialization might have brought substantial indirect benefits through research and development aimed at reducing the cost of producing heavy water. This opportunity has been lost. Today the price of heavy water varies between $95 and $150 per lb. considerably above the $14 target set in the 1960s, even after adjusting for inflation.

Smaller countries may remain interested in buying reactors that do not depend upon having access to enrichment facilities. This is a politically motivated consideration that may not be persuasive when large-scale investments are at stake. Nonetheless, CANDU has a selling point in countries with uranium resources. Because Canada can avoid enrichment and the complex manufacturing of a calandria, even the least industrial countries could come close to becoming self-sufficient in the production and operation of nuclear reactors. For example, India proceeded to build two 200-MW CANDU-style reactors after Canada withdrew support of their nuclear reactor program. On the other hand, this advantage is offset by dependence upon the original supplier for heavy water. Few small countries without a massive CANDU program would consider investing in its own heavy-water production facility. Once a commercial-scale plant (800 tonnes/year) is built, an additional 850-MW reactor must be added to the system each year in order to keep the heavy-water plant working near full capacity. CANDU claims lower life-cycle generating costs than light-water reactors. These claims depend upon it using lower-cost unenriched uranium and upon its higher average capacity because of its design. Of these advantages, only the first was a selling point since until recently operating data were not available for many reactors. This selling point lacks some conviction because the best light-water reactors, especially

German-built ones, seem also to be rarely out of service. Much of the credit for the good in-service performance of the CANDU is attributed to Ontario Hydro's excellent reputation in the management of reactor operations.

On balance, then, the CANDU does differ from the light-water reactor, and this is thought to preserve some hope for it despite the dominance of the light-water reactor. The CANDU's assets have declined in importance, however, since enrichment facilities have become competitively available, whereas heavy-water supply remains virtually a Canadian monopoly. This remains a real liability to selling the CANDU abroad. The differentiation strategy no longer seems to be a sufficient basis for being optimistic on behalf of the CANDU, even if the world market for nuclear-generated power should recover.

Focus on Ontario

Costs of Expanding Into the U.S. Market

Atomic Energy of Canada Limited was focusing on the domestic market during the critical period for commercializing nuclear reactors. This strategy probably saved at most $100 million or so – the amount in 1965 dollars that would have been needed at that time to crack the U.S. market. That is the investment that would have been required to overcome the regulatory barrier, since initial sales in the United States could only have been made on a concessionary basis. AECL was the venturer with much to gain had CANDU become accepted in the U.S. and global markets; therefore, AECL alone should have been willing to accept the risk associated with CANDU commercialization in the United States. Meanwhile, at home, the Ontario government was willing to shoulder over half the risk. In order to sell a CANDU into the U.S. market in the mid-1960s, AECL would have had to meet GE and Westinghouse's turnkey prices, and to guarantee heavy-water supplies either free of charge or at a firm price. It might also have been necessary to assure customers of uranium supplies at firm prices.

To determine the sort of investment that would have been required, we might look to GE and Westinghouse's investment in market dominance. These two firms are reported to have lost a combined total of $1,079 million on 13 reactors built under turnkey contracts. Since the two Pickering stations cost about $220 million (Cdn.), or about $240/kW (US), Canadian reactors would have been considerably more expensive than the prices being charged by GE and Westinghouse on turnkey projects. For example, the Monticello station is roughly the same size as a single Pickering unit. It entered operation the same year as Pickering – that is, in 1971. The utility paid $105 million, but GE is reported to have lost $63 million on the sale (see Table 4-3). To the utility, the capital cost was about $190/kW whereas GE's costs were closer to $305/kW. If Pickering costs could have been translated into the U.S. market, AECL would have been able to enter with only modest cost overruns; but at the outset it would have had to accept a great deal of risk. Two significant sales in the United States of 500-MW reactors, together with assured supplies of heavy water, would seem to have placed AECL at risk for little more than a total of $250 million, even if the reactors failed to operate. This is not an unsubstantial sum, but Westinghouse and GE risked about ten times that amount (see Table 4-3). It is more likely that AECL would have risked losing, at most, $100/kW, or $100 million.

Granted this is not a trivial sum; but it is not incommensurate with expenditures already being devoted to nuclear power at that time. During the mid-1960s AECL research expenditures were running about $60 million per year, so that almost two years' research funding would have been placed at risk by entry into the United States. The firm would have needed to advance about $37 million per year over six or seven years to complete two 500-MW reactors in the United States at its own risk. Whether this sort of additional financing would have posed a problem for AECL is debatable. It certainly was a small amount considering the size of the potential market had the reactors been successful. Especially after turnkey reactors were no longer being sold, AECL would have been well placed to build a CANDU installation in the United States, had it been prepared to absorb the risk.

Ontario's Political Interests

To Ontario Hydro, the political advantage of assisting provincial goals must have outweighed any consideration of experimenting with light-water reactors. Even if CANDU's capital costs had turned out to be significantly higher than those required to purchase a light-water reactor, at nominal interest rates of between 3 and 5 per cent, the operating cost of a higher-priced reactor would hardly have been significant. Offsetting any premium for capital would have been the lower fueling cost for the CANDU reactor, which does not need enriched uranium. CANDU's operating costs are lower than those of a light-water reactor, even if both reactors perform to standard.

CANDU clearly offered Ontario an attractive political, if not economic, package. Foreign coal would have been displaced by Ontario uranium, while much of the manufacturing would have been domestic. Ontario Hydro was not interested in export sales. At the time, it was premature to

plan for standardization in order to reduce costs. This possibility emerged only in the early 1970s. But even if increased sales volume might have promised somewhat lower costs, the then-low rate of interest used by Ontario Hydro in its decision making made such considerations largely superfluous.

While Ontario Hydro used rates as low as 3 per cent nominal in the mid-1960s, Électricité de France, for example, used a 9 per cent *real* rate, according to Vernon ([ed.], 1974). With real rates of interest that were fivefold higher, the French utility could not afford to disregard even minor differences in capital costs. It, therefore, resisted nuclear reactor programs until 1971 and then opted for a standard U.S. light-water reactor.

The focus on the Ontario market by AECL was the path of least resistance. Because Ontario Hydro used a low real rate to evaluate capital investments, nuclear power was a clear winner over coal, and any slight difference that might have emerged between the costs of light-water reactors and the CANDU was of secondary importance. The political advantage of the CANDU for Ontario was clear, especially since AECL would continue to cover the giant's share of the research and development costs.

For AECL the path of least resistance has not turned out well. By placing all of its eggs in one basket it has paid the price risked by any firm that pursues an under-diversified strategy. Ontario Hydro influenced the development structure of the producing sector, which suits a domestic utility interested in custom-built generating stations. This same structure is ill-suited for international competition and large-scale selling efforts. By not moving quickly to establish a strong position in international markets, which would have been made necessary in the absence of Ontario Hydro as a crutch, AECL missed the opportunity to make CANDU the standard reactor in world markets. Instead, AECL has ended up with the second best hand in an enormous poker game that promises little, if any, payoff.

5 Business Strategy in a Declining Market

It is easier to enter a new industry than it is to decide on when and how to leave it. During the 1960s, increased federal government financing certainly was defensible if not opportune. A handsome return was a strong possibility if not an anticipation. The international market for nuclear reactors was reputed to be on the verge of booming. In the mid-1960s, the rapidly increasing rate of reactor sales by U.S. producers conveyed the impression that nuclear power was even then cheaper than coal-generated power. Even if coal still remained cheaper, surely in time, as nuclear reactor manufacturers and operators gained both additional experience and the learning that goes with it, coal would decline as a rival. Nuclear costs would continue to drop, but since coal-fired generation of electricity was a mature technology, the learning curve was flat and the cost of production would stabilize. Indeed, U.S. environmental legislation threatened an appreciable rise in the cost of coal before the end of the decade. Consequently, utilities had every reason to order nuclear power stations if only to gain the experience needed.

Though rival producers were numerous, the British and the French nuclear programs seemed to be stalled, and the German program was slow off the mark. U.S. producers seemed to have all the business they could handle at home, but even U.S. nuclear reactors were as yet untried. No one had as yet built a large light-water reactor, nor had they demonstrated its capabilities in the operating environment of a utility. The CANDU had already been selected by Ontario Hydro, which had had the option to choose a light-water reactor instead. Ontario Hydro officials told the writer that they made price comparisons at the time and CANDU was favoured. For AECL the Ontario Hydro decision promised market growth sufficient in Ontario alone to sustain an efficient scale reactor industry and to recover R&D costs. The future for CANDU seemed assured.

The rosy picture described above disappeared from sight at least a decade ago. Nonetheless, government financial support has continued to grow, though in real terms it peaked in 1973-74. But even though poor prospects have been evident for the CANDU for a decade, no clear-cut strategy has been settled upon. If there is a deliberate strategy, it is to plod on in the expectation that the odd reactor order will be forthcoming over the next decade and that the market will rebound in the late 1990s.

The phasing-out of an industry like the nuclear reactor business is not easy to implement. Work on reactors still under construction will continue for another six or seven years, and the infrastructure needed to maintain those reactors will be in demand for another 40 years. The decision for AECL to withdraw from the industry may not mean much more than scaling down its operations, reducing R&D budgets, and halting any major efforts to design improved reactors of the CANDU, or any other, type. In these circumstances, withdrawal from the nuclear reactor business need not be accompanied by a dramatic announcement. A shift of AECL's research efforts into nuclear waste disposal or a shift to components for "light-water" reactors or to other product lines would indicate withdrawal from the CANDU reactor business. Since a large part of AECL's R&D effort takes the form of overhead needed to maintain the stock of CANDU reactors presently in service or about to be commissioned, withdrawal from actively developing and marketing the CANDU may not be accompanied by a dramatic announcement. Withdrawal may lead Ontario Hydro into integrating those parts of AECL it deems necessary to maintain its reactors, and this could facilitate the paring-down of Canada's overall commitment to sustaining this apparently declining industry.

Dimensions of the Declining Demand for Nuclear Reactors

What are the near and longer-term prospects for nuclear power in general, and for the CANDU in particular? Much of the market forecasting reported here is from Evans and Hope (1983) and dates back to 1983. Table 5-1 suggests that total world-installed capacity will, at most, rise by 400 GW between the years 1985 and 2000. The more pessimistic prediction is for 200 GW. Since most of the installed capacity to be in place by 1990 will already have been ordered, the scope for new orders over the next decade is between 163 and 365 GW. If Canada were to retain a 5 per cent share of world markets, it would receive orders for between 8 and 18 GW over the next 15 years. At the low end, this amounts to about nine 850-MW reactors; at the high end, twenty-one.

But if the Evans and Hope (1983) estimates for Canada were at all a guide to the accuracy of their estimates for

Table 5-1

The Evolving Pattern of Nuclear Capacity Projections to 1985 and 1990

	Data source	Year of projection	Projected capacity 1985	1990
			(GW)	
North America	(1)	1972	295	539
	(2)	1975	223	426
	(3)	1977	125–157	214–287
	(4)	1979	112–134	177–214
	(5)	1980	96–119	138–156
	(Evans & Hope)	1983	84-105	113–135
Western Europe	(1)	1972	184	373
	(2)	1975	165–212	264–380
	(3)	1977	107–146	195–273
	(4)	1979	100–113	166–209
	(5)	1980	94–94	142–157
	(Evans & Hope)	1983	81–95	109–127
OECD Pacific	(1)	1972	63	106
	(2)	1975	49	85
	(3)	1977	27–40	50–80
	(4)	1979	26–33	45–60
	(5)	1980	28–30	51–53
	(Evans & Hope)	1983	20–23	27–33
Developing world	(1)	1972	25	50
	(2)	1975	46	114
	(3)	1977	19–25	45–60
	(4)	1979	19–23	45–50
	(5)	1980	14	30–33
	(Evans & Hope)	1983	10–15	19–23
WOCA	(1)	1972	567	1,068
	(2)	1975	479–530	875–1,004
	(3)	1977	278–368	504–700
	(4)	1979	257–303	434–534
	(5)	1980	232–258	361–399
	(Evans & Hope)	1983	194–238	268–331

SOURCE Nigel Evans and Chris Hope, *Nuclear Power: Futures, Costs and Benefits* (Cambridge, Mass.: Cambridge University Press, 1983), p. 10.

other countries, their estimates seem to be rather high. In Canada, after the Darlington plant has been completed in 1992, there will be 15 GW installed. If Evans and Hope were right about the level of installed capacity for the year 2000, between 3 and 8 GW more capacity is all that will be demanded before 1995. Today, surely the lower bound is closer to being a mean value of what is to be expected. Canadian orders for the CANDU will only follow if utilities sell surplus power from nuclear and conventional sources to U.S. utilities. This possibility bears the status of a hope rather than a prospect.

There is still worse news for the CANDU in the Evans and Hope data collected in Table 5-2. Countries like Argentina, Egypt, and Mexico, where we have a toehold, will not be major buyers. Indeed, demand will be modest in all non-OECD countries in the non-communist world: between 18 and 59 GW for the group, accounted for largely by demand from India, Korea, Taiwan, Brazil, and South Africa. Canada's best bet is for orders from Korea. (This hope has recently been dashed as Korea has rejected a bid from AECL in favour of further reliance on light-water reactors.) Keeping in mind the complicated Roumanian "sale" and prospective sales in Turkey, other Canadian sales will need to be in Eastern Europe or China. These markets remain small, and competition is intense for sales into those markets. France, for instance, has the capacity to sell between six and eight light-water reactors each

Table 5-2

Net-Installed Nuclear Capacity, by Country, Actual and Estimates for Selected Years, 1978-2000

	1978	1982	1985		1990		2000	
			Low	High	Low	High	Low	High
				(GW)				
Canada	5.5	7.0	9.0	10.1	11.6	13.3	18	23
United States	55	63	75	95	101	135	130	180
Austria	–	–	–	–	–	–	–	0.7
Belgium	1.7	3.5	4.5	5.5	5.5	5.5	5.5	8
Finland	0.4	2.2	2.2	2.2	2.2	2.2	3	4
France	4.6	23.2	35	40	50	56	70	90
Germany	5.6	9.8	12.6	16	19	23	28	40
Italy	1.4	1.3	1.3	1.3	2	3	7	12
Netherlands	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	3
Spain	1	2	5	7.5	7.5	11.5	12.5	20
Sweden	3.7	7.4	7.4	9.5	9.5	9.5	7	12
Switzerland	1	2	3	3	3	4	4	5
United Kingdom	5.8	5.8	9	9	10	11.5	10	17
Other Western European countries	–	–	–	–	–	–	3	10
Japan	11	17	20	23	27	33	60	95
Australia and New Zealand	–	–	–	–	–	–	–	2
OPEC countries	–	–	–	–	–	–	–	2
Argentina	0.4	0.4	1.0	1.0	1.7	1.7	2.7	3.7
Brazil	–	0.6	0.6	0.6	2	3	4.5	7
Egypt	–	–	–	–	–	–	2	5
India	0.6	0.8	1.3	1.5	1.7	2.6	7	10
Korea	0.6	0.6	1.8	3.6	5.4	7.2	11	18
Mexico	–	–	–	1.3	1.3	1.3	3	7
Phillippines	–	–	–	0.6	0.6	0.6	0.6	1.2
South Africa	–	–	1.8	1.8	1.8	1.8	3	6
Taiwan	0.6	3.1	3.1	4.9	4.9	4.9	7.5	14
Other non-developed countries	–	–	–	–	–	–	2	7
Total non-communist world	99	150	194	238	268	331	401	603

SOURCE Evans and Hope, *Nuclear Power: Futures, Costs and Benefits* (1983), p. 11.

year, since it has scaled down its domestic building program. (The *Globe and Mail*, November 19, 1984, p. b3, reported that Électricité de France would order only one plant in 1985 and 1986.) The French are reported to be able to undersell AECL by about 30 per cent, though it is unclear whether this figure includes the heavy-water charge for the CANDU reactor. Lower operating costs help the CANDU; whether they help enough to overcome the initial disadvantage, however, is uncertain. Nor should the U.S. industry be overlooked as a competitor. Though much maligned because of uncontrollable cost increases, some U.S. reactors have been built at a cost as low as, if not lower than, that reported for the French reactors. At the moment, GE is seeking approval of a sixth-generation, boiling-water reactor, which it hopes to market largely offshore. Keeping in mind the sort of rivalry that CANDU faces, winning 10 per cent of the market would be a considerable achievement, amounting to between 1.8 and 5.9 GW over a 10-year period.

Other forecasts are even less hopeful. Westinghouse recently forecast world demand outside captive markets

like France, Canada, and Eastern Europe at only twenty-four 1200-MW reactors up to the year 2000. If Westinghouse is right, CANDU's 5 per cent share should result in, at most, two orders for 850-MW reactors from overseas ("Westinghouse Expects Nuclear Power Revival," *Globe and Mail*, Report on Business, October 9, 1984). That number is far below the number of reactor orders predicted by Secor Inc. in 1981 in Lortie and Schweitzer (1981). Secor Inc. anticipated sales of 32 GW in the year 2000.

Secor Inc. extrapolated demand for the period 2000 to 2020 (see Tables 4-6 and 5-3) Demand is expected to be three times greater than it was during the 20 years from 1980 to 2000. The tripling of the level of demand for the period 2000 through 2020 was borrowed from the International Fuel Cycle Evaluation. How good are these estimates? It would be difficult even to offer a guess. The market is expected to rebound because the present stock of electric-generating capacity has accumulated rapidly since the war. Even if the use of electric power should continue to grow more slowly than in earlier decades, replacement demand should still support the market. The present stock of power stations in the United States has an average age of 15 years; even with a life expectancy of 50 years, about 100 GW will be ordered for replacement purposes alone before the end of the century (Luce 1983). Increased load growth at a modest 1.5 per cent annually would stimulate demand for another 62 GW. If growth returns to a modest 3.4 per cent on a long-term basis (just half the 40-year average of 7 per cent), then 340 GW of extra capacity will be needed. Of course, not all the demand will necessarily be for nuclear reactors. The economics of coal vs. uranium has a lot to do with the decision to build a nuclear power station. In addition to these considerations, it is quite extraordinary that in the United States fully 25 per cent of installed electricity-generating capacity still uses oil or natural gas. This reflects the low price of oil and gas before 1973. Finally, many nuclear reactors built and commissioned in the mid-1970s will be phased out about the year 2010. Replacement installations will be ordered at the end of the century. Construction of power stations in other industrial countries has followed a similar pattern. Furthermore, since until 1973 oil and natural gas were often a lower-cost fuel than coal, numerous oil- and gas-fuelled stations remain to be replaced.

Upon analysis, the U.S. market remains the most promising for Canada; there, an enormous aging and expensive stock of generating capacity will be replaced during the final years of this century and in the early decades of the next century. But it is also in the United States, where coal is abundant and nuclear reactor manufacturing capacity is surplus, that CANDU continues to face an uphill climb.

Table 5-3

Forecasts for Nuclear Reactor Orders in Ontario Compared with World Market to Year 2000

	Installed capacity in the year 2000	
	World market	Ontario*
	(GW)	
1974	4,000†	
1977	1,543‡	80.0
1978	1,400‡	50.0
1981	800‡	28.0
1982		16.7

* C. A. Hooker et al., *Energy and the Quality of Life: Understanding Energy Policy* (Toronto: University of Toronto Press, 1981), p. 55.
† According to *An Energy Strategy for Canada* (Ottawa: Queen's Printer, 1976), p. 68.
‡ Lortie and Schweitzer, *A Strategy for the Development and Strengthening of the Canadian Nuclear Industry* (1981), various pages.

Competing Reactors

A decision to withdraw from the research, design, and demonstration of projects for improved CANDU reactors and competing reactor concepts is equivalent to exiting the industry. If these activities are not sustained at some reasonable minimum level over the next decade or two, other reactor designs will pre-empt any hope of a market for the CANDU. The experience and learning curves are real for nuclear reactors and their operating companies. Furthermore, light-water reactors will be continuously improved, and new reactor designs now on the drawing board or at the demonstration stage may become commercially attractive (see Weinberg and Spiewak 1984; Gould 1984; Wakstein 1978). Unless CANDU and AECL keep pace, it is conceivable that even Ontario Hydro will turn to foreign producers and designs for the next generation of Canadian reactors. Nor is it out of the question that improved desulfurization technologies will not make coal a still formidable rival to uranium for power generation.

The Japanese Ministry of International Trade and Industry (MITI) is co-ordinating a national program that will bring together Westinghouse, General Electric, Japanese nuclear reactor vendors, and Japanese utilities to design advanced light-water designs (see, also, Marcus 1983; Lester 1983; "Westinghouse/Mitsubishi: Inbreeding," *The Economist* 1982). In the United States, MIT has an active research program called "The Light-Water Innovation Project" (Golay 1984). The Swedes are

studying a modified light-water reactor called PIUS, standing for "Process Inherent Ultimate Safety." This design is intended to give one week's passive protection from a loss of coolant to the core. At Three-Mile Island melting of the core began within two minutes of the loss of coolant (Freeman 1983).

Germany is presently demonstrating a 300-MW, high-temperature, gas-cooled reactor called a "pebble-bed" type of reactor. In the United States, Gas-Cooled Reactors Associates, a company owned by 30 utilities, is pursuing the development of a high-temperature, gas-cooled reactor (HTGR). Lidsky (1984) reported that a group of professors at MIT believe that the HTGR, cooled with helium, is a better "mousetrap." Lidsky foresees HTGR units being built in a factory. Each 100-MW reactor would be transported by truck to the power station site. Any economic loss resulting from the small scale of each unit would be compensated for by the advantages of standardized *serial factory production*, including a reduction in difficult to control on-site cases function costs. Quality control would be far easier, and the vendor would be able to sell reactor modules at predetermined prices. Furthermore, the modular arrangement would permit utilities to match their generating capacity more closely to load requirements and would reduce the severity of the effect of an accident. It is conceivable that a module could breakdown but the remainder of the power station stay in service. Apart from those advantages, the HTGR would be intrinsically safer, and loss of coolant would not result in a meltdown for several hours. The pebble-bed reactor is safer still.

The above options, which are now on the horizon, are just an example of the research and development work that is underway. Westinghouse and General Electric remain active. "Fast-breeder" programs are progressing, with France, Germany, and the United Kingdom having recently announced plans to build three new reactors (see Collingridge 1984*a*; Chow 1977; Dickson 1982, 1984; Marshall 1982; Young 1984; Cochran 1974; United States, "Analysis of ... Clinch River breeder reactor cost estimates" 1982; "A breeder reactor that may melt away," *Business Week* 1982; "American fast breeder faces a sterile future," *New Scientist* 1982). "Fusion" research continues as well. Nevertheless, the fairly conventional fission reactors remain the front runners for commercial uses, because the price of uranium remains low and supplies are abundant. The longer-than-expected life of the fission reactor is reflected in the willingness of countries and companies to invest in new and improved designs.

The CANDU will certainly not have the field to itself in 10 years or so, when the market is expected to revive. Is a new round of public investment warranted, given the future prospects for CANDU sales? That is the key question for the government, because without some effort to keep up, whether the market revives or not the CANDU will not be a valuable technology. But before a decision is made to invest, the prospects for the revival of sales ought to be examined. Making optimistic forecasts for the future of the nuclear reactor industry in Canada and elsewhere has had a long track record of failure. In the following few sections we shall look at AECL's prospective markets.

Coal vs. Uranium: Is Nuclear Power Competitive?

Anyone forecasting the future of the nuclear reactor market for the CANDU but also must assess not only the strength of competing reactor designers but also the future competitiveness of coal as a fuel for generating electricity. Whatever reactor design is chosen, coal is uranium's closest rival for generating base-load power. The recovery of the nuclear reactor market is tied to the cost-effectiveness of coal for generating power. During the 1960s and up until 1975, nuclear power was believed to be far cheaper than coal power. This belief has since evaporated in the United States. The explosive rise in capital costs (13 per cent per annum) and the poorer-than-expected performance of nuclear power stations already in service have forced a re-evaluation.

Ontario Hydro's Analysis

Elsewhere in the world, including Canada, nuclear power remains more popular. In 1981, for instance, Ontario Hydro reported that the lifetime costs of equivalent-sized stations were 2.14 times higher for coal than for the CANDU (Ontario Hydro, Report #62058, 1981, p. 4). This high figure was reduced to just 1.46 in a later study (Ontario Hydro, Report #620SP, December 1982). Both studies measured the value as of 1995 of all costs incurred during construction and throughout the 40-year lifetime of the plant, based on present values. These results are also based upon the assumption that the coal and nuclear plants will both operate at a capacity of 80 per cent. But even if the capacity levels should fall, which would favour the coal plant since less fuelling would be needed, the nuclear option maintains a large advantage over coal.

OECD's Analysis

An OECD study (1983*b*) gives nuclear power an advantage of between 29 and 75 per cent. In the central United States (the Chicago region), nuclear and coal costs

just break even. At a real discount rate of 10 per cent, the advantage of nuclear power over coal in Europe reportedly varies between 9 and 31 per cent except for France, where the advantage is 50 per cent. In the United States, nuclear power costs 20 per cent more than coal. For some reason, in Canada nuclear costs maintain a 14 per cent advantage over coal, even at a 10 per cent real rate. These comparisons are based on 1981 figures and may be out of date. The dynamics of these forecasts are evident from the two Ontario studies, which in one short year saw the advantage of nuclear power almost halved. The OECD study based its Canadian result on the 1981 Ontario Hydro study, which reported capital costs of a nuclear plant to be just 109 per cent of a coal-fired plant. In December 1983, Ontario Hydro increased its estimate to 134 per cent. This upward adjustment to the OECD data would lead to coal being a more attractive option in Canada.

As we have seen, the Ontario Hydro study (Report #6205, December 1982) gave nuclear power a substantial advantage over coal. Assuming a capacity factor of 80 per cent for both, the present value at the time of commission for all costs was 46 per cent higher for coal than for nuclear power. Even with an average capacity factor of 60 per cent, the advantage was 33 per cent.

How can Ontario Hydro studies assign to nuclear power such an extraordinary advantage, while the OECD study, which was based upon the same data, presents quite a different picture? The difference is due to Ontario Hydro having used a real rate of discount of about 2 per cent in 1981, whereas the OECD required that the calculations be made using both a 5 and 10 per cent real rate. With a 5 per cent real rate, the nuclear advantage dropped from 114 to 42 per cent in central Canada (OECD 1983, p. 26). That is still on the high side compared with most European countries. It is, of course, far closer to the results in Ontario Hydro's 1982 study. This should be no surprise, since in 1982 Ontario Hydro used a real rate of 4.5 per cent.[1]

The OECD study itself leaves many unanswered questions and is most revealing of the influence of interest groups in politics. German coal, for instance, is priced at 85.6 ECU/tonne (as of January 1981), compared with imported coal priced at 51.4 ECU/tonne. Nevertheless, German calculations giving nuclear power an advantage are based on the use of domestic coal for 50 per cent of requirements. Similarly, in the United Kingdom coal is priced at 72.0 ECU/tonne, whereas in France and Italy it is only 51.2 and 49.8 ECU/tonne, respectively. Nuclear's advantage in Germany and the United Kingdom depends significantly upon continued artificial pricing of coal for additional coal-fired plants. This is truly ironical, even if politically realistic. Nuclear stations may replace coal stations because domestic coal prices are being maintained in the United Kingdom and Germany at a premium that is between 40 and 52 per cent above the international price, respectively.

It is not surprising that nuclear power should have an advantage over coal in the OECD study, given the high coal prices used and the reported cost of building coal generating stations. According to the study, it costs Europeans, for some reason, far more to build a coal station than it does Canadians. The British report a cost of 1,372 ECU/kW and the French 655 ECU/kW, even though both plants are without desulphurization equipment. The comparable Canadian cost with desulphurization (which adds about 20 per cent to the capital cost) is just 449 ECU/kW. Surely we are getting some questionable analysis on the cost of building coal-fired stations, which gives an overwhelming advantage to nuclear power. If OECD cost estimates are valid, then the nuclear advantage in Europe is due largely to distortions in the price of coal and the construction of coal-fired stations. On the other hand, if these estimates are simply padded, then we have every reason to question the veracity of reports that seem designed to give nuclear power an advantage over coal.

Most European countries predict that the price of coal will rise faster than uranium at a real rate of 2 per cent per annum. This, too, is a questionable assumption that contributes to finding that a coal-fired station is a poor choice.

The Ontario Hydro studies seem to be more reliable concerning the initial capital cost for constructing coal and nuclear stations than the figures provided for European countries in the OECD paper. Nevertheless, it is by no means clear that nuclear power has any advantage over coal, even in Ontario.

A U.S. Analysis

One is led to question Ontario Hydro's conclusions when one considers the comparable U.S. figures for Chicago. In the OECD study, despite all the apparent padding of coal costs, nuclear power just breaks even with coal at a 5 per cent real rate and falls behind coal, costing about 20 per cent more, at a 10 per cent real rate. Moreover, many other U.S. studies give coal a far greater advantage than 20 per cent. A recent study by Hellman and Hellman (1983) found that four major U.S. studies comparing the costs of nuclear power with those of coal overstated the advantage claimed for the former. The four studies gave nuclear power the edge, as follows – 1.60; 1.24; 1.15; and 1.06. Hellman and Hellman corrected the

nuclear/coal cost ratios and all four studies favoured coal as follows – 0.78; 0.71; 0.57; and 0.50. Electricity generated from coal was as much as half the cost of electricity from nuclear power in two of the studies after Hellman's corrections.

Real Rates of Interest Used in Ontario Hydro's Analyses

Ontario Hydro (1982) favoured nuclear power over coal, despite a rise in the capital cost of a nuclear station, largely because it used the following nominal discount rates:

	(Per cent)
1982-85	17
1986-87	16
1988-99	15
1991-95	14
1996-2000	13
2000-	12

The real rate was assumed to be 4.5 per cent (p. 9), whereas in an earlier report (Ontario Hydro 1981) the real rate used was just 2 per cent. The later study assumed that the rate of inflation would range between 10 and 12 per cent to 1995 and that it would continue at 8.5 per cent to 2000 and then remain at 7.5 per cent for the rest of the 35-year life of the station.

A low-real interest rate, gives nuclear power a significant advantage. The advantage comes from its lower fuelling costs and higher capital costs. By contrast, inflation itself should not in principle affect the choice between nuclear and coal generation, unless the relative prices of coal and uranium are expected to change with inflation. If a high rate of inflation is anticipated, a utility that chooses to build a coal-fired generating station will save on borrowing costs an amount sufficient to pay for higher-priced coal in the future. This assumes that the anticipated rate of inflation is built into then current interest rates. If so, the additional interest expenditures due because of the higher initial cost of the nuclear station will offset the greater fuelling costs of the coal-fired station.

But inflation will not be neutral when the tax system does not correct for it. Because Ontario Hydro does not pay taxes, no distortion is introduced by using the book value for depreciation purposes throughout the life of the reactor. If depreciation charges in the early years were placed in a fund to earn interest, they would recover inflation costs and be sufficient to replace the plant at the end of the period. For private utilities, however, the corporate tax rate would introduce a serious distortion. With high inflation rates, straight-line depreciation leads to profits being overstated in the early years, thereby increasing tax expenditures. At the end of the period, the station could not be replaced from the accumulated funds generated by depreciation charges net of the additional tax.

This difference in tax treatment may help to explain why private U.S. utilities have turned away from nuclear power while Ontario Hydro continues to favour it. This point is worth more investigation because a decline of inflation, or a reform of corporate taxation, may lead to a revival of the demand for nuclear power by private U.S. utilities.

The Ontario Hydro study provides information about the sensitivity of the cost of producing electricity to altered assumptions about the relative prices of coal and uranium. For instance, if coal price escalation were 20 per cent below that which was forecast, the advantage of nuclear power, at an average capacity factor of 80, would drop to 17 from 46 per cent.

Thus two factors can have a significant influence on the measures of relative advantage of nuclear over coal. One is the real rate of interest, and the other is the forecast of the relative price of coal to uranium. Table 5-4 shows that Ontario Hydro is willing to spend about $1,127/kW in extra capacity (in 1995 dollars) to buy nuclear power rather than coal, hopefully to save about $6,373 (in 1995 dollars) in equivalent-year dollars. This certainly is a sound investment. But should inflation drop from 7.5 to 4.5 per cent and the cost of funds remain at 12 per cent, (an increase in the real rate by 3 percentage points) then the anticipated saving would fall to $3,195. If coal price escalation were to lag 2 percentage points behind that of uranium the advantage would be just $1,409.

Despite the above caveats, the Ontario Hydro study does indicate that nuclear power would seem to be a better investment in Ontario than is coal-generated power.

Energy, Mines and Resources Evaluations

A fairly recent government study (Canada, EMR 1981*b*) helped to place the Ontario Hydro study in context. Unlike the Hydro study, the one by Energy Mines and Resources calculated costs and benefits in "real" terms. The inflation rate was assumed to be zero, and uranium and coal prices were fixed at the 1978 level. At a 4 per cent real rate of discount and with 80 per cent average capacity, the nuclear advantage over coal was 170 per cent. At a 10 per cent real

Table 5-4

Hypothetical Cost Ratios of Coal to Nuclear Energy for Producing Electricity, Ontario Hydro (1995 Dollars)

	Costs per kw of output at 80 per cent capacity			
	Nuclear energy	Coal	Incremental cost of a coal plant	Ratio of coal to nuclear energy costs
	(Dollars)			
Capital cost	5,534	4,134	1,400	
Annual operating costs (excluding depreciation and financing charges)	224.24	576	(351)	
1. Present value of operating cost (1985 in 1995 dollars)	4,310	11,019		
Total cost	9,852	15,359	5,507	1.54
2. Present value of operating cost (1985 in 1995 dollars)	2,929	7,532		
Total cost	8,463	11,666	3,203	1.37
3. Present value of operating cost (1985 in 1995 dollars)	2,929	5,736		
Total cost	8,463	9,870	1,407	1.17

NOTE Assumptions for three cases:
1. Inflation is assumed to be 7.5 per cent and the nominal interest rate is 12 per cent.
2. Inflation is assumed to be 4.5 per cent and the nominal interest rate is 12 per cent.
3. The nominal interest rate is 12 per cent and the rate of increase of uranium prices is 4.5 per cent and of coal prices is 2 per cent.

SOURCE Calculated by author from data found in J.V.C. Fong; J. Basu Roy; G. N. Meehand; and G. F. McIntyre, *Cost Comparison of CANDU Nuclear and Coal-Fuelled Generating Stations*, Report #620 SP (Toronto: Ontario Hydro, 1982).

rate it dropped to 117 per cent. For some reason or other, this study failed to include the opportunity cost of capital during the period of construction. This would have added over $500 million for the nuclear option and just under $200 million for coal had a real rate of 10 per cent been applied.

It may seem surprising that nothing more definitive can be said about the relative costs of nuclear power and coal. Certainly during the boom years of the late 1960s and early 1970s little was known about the true costs of a nuclear reactor, about the level of capacity that would be operational, or even about the expected life of a station. More information is now available on the reliability of nuclear stations and their operating costs; any estimate of the relative advantage or disadvantage of nuclear power over coal is dependent upon estimates of real interest rates and the relative prices of coal and uranium over a 50-year period. As a result, we are forced to agree with the conclusion of Bupp and Derian (1978). After extensive analysis of the data on this subject they concluded that "it is literally impossible to make a determinate economic case either for or against nuclear power" (p. 162).

6 Cost/Benefit Analysis: Past and Future

This study has found that because the demand for electricity, and thus the derived demand for nuclear reactors, has fallen far below the expectations held with conviction before 1975, the CANDU has been expensive for Canada. In this chapter it is estimated just how costly it has been. But sunk costs are behind us. The key question now is whether or not Canada should undertake any additional investment and through what corporate form. If further investment is not made, other reactor technologies will pre-empt the CANDU. In the preceding chapter it was shown that there is virtually no market for nuclear reactors anticipated for at least a decade. After that, the market may revive, especially in the United States. After looking at the dimensions of past performance some tentative suggestions are made about the minimum investment that will sustain the CANDU until 1995. The possibility of earning a return on this investment is explored.

Estimated R&D Costs of the CANDU System

The value, as of 1981, of all R&D expenditures for the CANDU reactor systems to the end of 1982 totalled $14 billion (in 1981 dollars), based on real opportunity costs of 7.5 per cent. Since 1982, R&D expenditures have continued at a level of about $150 million/year, which would seem sufficient to maintain the 15 GW of installed nuclear capacity to be in place by 1992. At a real rate of 7.5 per cent, the present value of the future R&D expenditure flow is $2 billion. Thus, as of 1981, the total

Table 6-1

Federal Expenditures to Finance Heavy-Water Plant Construction and Heavy-Water Production*

	Heavy-water plants				
	Bruce	Glace Bay	Port Hawkesbury	La Prade	Heavy-water inventory
			($ Millions)		
1978-79	–6.29	8.3†	9.0	102.5	30
1977-78	–5.85		12.0	56.5	2.25
1976-77	–5.42	23.0	3.0	37.0	5
1975-76	–1.30	33.5	35.0	69.0	15
1974-75	–	54.0		31.0	–17.5
1973-74	–	55.0			–4.1
1972-73	20.0	18.0			11.0
1971-72	68.0				10.6
1970-71	62.0				–
1969-70	25.0				10.0
1968-69					
Total principal outstanding	156.14	191.8	59.0	296.0	62.25
Uncollected capitalized interest	57.094	72.9	NYC‡	NYC‡	–
Total amount due	213.23	264.7			62.25

* The amount shown reflects total advances, net of repayments on principal; repayments on interest are included in Table 9 in the source given below.
† The amount includes a $3.3-million loan to finance 1978 instalment payment on Glace Bay purchase.
‡ Not yet capitalized (NYC).
SOURCE Canada, Department of Energy, Mines and Resources, *Nuclear Policy Review: Background Papers* (1981), p. 319.

costs "sunk in" the program amounted to about $16 billion (in 1981 dollars). This figure makes no allowance for additional write-offs for prototype reactors and heavy-water plant construction (see Tables 6-1, 6-2, and 6-3). Excluding interest and not adjusting for inflation, heavy-water plant subsidies from the federal treasury totalled $546 million (excluding the Bruce station, which was purchased from AECL by Ontario Hydro). As of 1981, those additional expenditures added $2 billion to the $16 billion spent on R&D. Altogether, then, the federal government has spent the equivalent of $18 billion (in 1981 dollars) on the CANDU program.

It is true that part of AECL's R&D effort might have been in support of non-commercial projects, or projects other than the CANDU. Professor Meneley, in a private communication, suggests that as much as 40 per cent of the R&D expenditures should reasonably be apportioned for non-CANDU projects. I think this exaggerates the proportion not related to nuclear power projects, but AECL has not offered any precise fraction to use. In the absence of a detailed study on the question, we are left with little choice but to make a conservative assumption. For the sake of argument then, in what follows $6 billion is being allocated to research for non-commercial and non-reactor programs. This is about 33 1/3 per cent of the total R&D budget. Though somewhat less than Professor Meneley's figure it is considerably higher than I would guess is the true figure. The total cost of the R&D effort is then taken to be $12 billion (in 1981 dollars), and not $18 billion.

Even on the basis of this conservative assumption, the average R&D costs per kilowatt hour of installed capacity in Canada have turned out to be high. Until completion of the Darlington plant the average will be $1,053/kW; that will drop to $809/kW upon completion. It should be kept in mind that these average figures include a real interest rate of 7.5 per cent from the year spent, forward and

Table 6-2

Federal Financing of Commercial Nuclear Reactors in Canada: Cash Outflows, Repayments, and Amounts Outstanding

	Pickering A units 1 and 2	Gentilly II	Point Lepreau
		($ Millions)	
1978-79	–	–	100.0
1977-78	–		60.4
1976-77	–15.798	41.0	44.1
1975-76	–9.00	59.0	30.0
1974-75	–5.490	31.0	
1973-74	–6.909	20.0	
1972-73	10.057		
1971-72	20.052		
1970-71	28.0		
1969-70	22.0		
1968-69	19.0		
1967-68	9.0		
1966-67	6.0		
1965-66	2.4		
Total principal outstanding	–	151.0	234.5
Uncollected capitalized interest	–	–	NYC‡
Total amounts outstanding	–*†	151.0	–§

* Outstanding principal of $79.312 million converted to Canadian equity in AECL in 1977-78.
† Uncollected interest of $38.6 million forgiven in 1977-78.
‡ Not yet capitalized (NYC).
§ Drawdown incomplete.
SOURCE Canada, Department of Energy, Mines and Resources, *Nuclear Policy Review: Background Papers* (1981), p. 312.

Table 6-3

Federal Government Expenditures on Prototype Reactors

	Douglas Point	Gentilly I
	($ Millions)	
1977-78		5.87
1976-77		
1975-76		
1974-75		
1973-74		
1972-73		
1971-72		4.7
1970-71		19.0
1969-70		21.0
1968-69		22.0
1967-68	4.000	12.5
1966-67	18.275	2.5
1965-66	5.812	
1964-65	11.027	
1963-64	12.000	
1962-63	12.556	
1961-62	5.075	
1960-61	1.200	
Total	69.945	87.570

SOURCE: Canada, Department of Energy, Mines and Resources, *Nuclear Policy Review: Background Papers* (1981), p. 308.

backward to 1981. They are calculated by dividing $12 billion by the number of kilowatts of installed capacity.

To put these figures in perspective, it is worth recalling that the capital cost of CANDU reactors to Ontario Hydro is between $1,300 and $1,700 per kilowatt. If Ontario Hydro were charged the full cost of the R&D per kilowatt, the capital cost of a nuclear reactor would rise by at least 50 per cent. Except at real interest rates of near zero per cent, a cost-minimizing Ontario Hydro would certainly have selected coal in every instance.[1]

It was not planned to work out that way. Had expectations for the growth of demand for electricity been fulfilled, by 1977 average R&D costs would have been just $546/kW, falling to $250/kW by 1990, $133/kW in 2000, and $96/kW in 2008. Had AECL succeeded in making a sizeable number of sales offshore, the average R&D cost per kilowatt of Ontario Hydro's reactors would have fallen still further. Herein, the reactors built abroad are disregarded. There are two reasons for that. First, it was argued above that foreign sales were not part of the initial plan for CANDU's development; sales abroad became a priority only after 1970. Even then, sales abroad served a political, as much as an economic, purpose. Second, all sales lost money on a realistic accounting basis.

Ontario Hydro and AECL would almost certainly respond to this data by replying that all nuclear reactor manufacturers have benefited from government research and development programs. The fact is on target, but what inference is to be drawn from it? It was confirmed by a U.S. report that nuclear power in the United States would cost between 1.5 and 2.0 times more in the absence of government R&D expenditures (U.S. Department of Energy 1982). If the inference is that without the subsidy from the federal government, Ontario Hydro would have bought U.S. reactors or relied instead upon coal-fired stations, the writer of course agrees; but that is just the point. Ontario Hydro can always import nuclear technology; Canada would not have been deprived of nuclear power had the CANDU not been developed. Its full development cost must therefore be compared with the net benefit to Ontario Hydro of using the next best alternative.

Benefits and Costs to Ontario Hydro of CANDU Compared to Coal

The benefit to Ontario Hydro having selected the CANDU is difficult to determine. Energy, Mines and Resources Canada estimated $1 billion as the value in 1981 of the fuelling and operating savings to be gained from the use of an 850-MW reactor instead of a coal-fired generating station (Canada, EMR 1981*b*, Table 14, p. 54). The present value of the benefit stream, in the year the nuclear plant goes into operation, is $1,176/kW in 1981 dollars. This fixes the benefit against which to compare the incremental cost of the nuclear station.

It costs Ontario Hydro between $294/kW and $471/kW more for a nuclear plant. The first figure came from Ontario Hydro (Report #620SP, 1982, Table 1), adjusted for inflation; the second, from Canada (Canada, EMR 1981*b*, pp. 29-48). The EMR study excluded coal-desulfurization equipment ($114/kW) and the interest cost incurred during construction ($114.5 million for coal and $381.9 million for nuclear power, with both figures calculated at a real rate of 7.5 per cent). It also used the variable cost rather than the full cost of heavy water. In addition to making adjustments to account for these three omissions, the figures were converted by this writer from 1978 to 1981 dollars, using the consumer price index.

Ontario Hydro, by selecting nuclear power instead of coal, spends between $300/kW and $470/kW more for

the initial capital investment, and it anticipates benefits of $1176/kW. Its net saving is between $706/kW and $876/kW (in 1981 dollars). Since R&D costs are not charged to Ontario Hydro and are sunk in any event, it is no surprise that Ontario Hydro prefers the CANDU to coal. It is important to recall that in the preceeding chapter we pointed out that the calculation of the cost advantages of coal over uranium is sensitive to assumptions about the relative rates of increase of coal and uranium prices, as well as the real interest rate. The reader may note that the cost/benefit for CANDU vs. coal differs here from that reported in the last chapter. The difference is due to the fact that here we use the EMR data and adjust for omissions.

If we take for granted that the political process would not have allowed Ontario to source offshore the reactor component of a nuclear generating station, then the CANDU has saved Ontario Hydro about $800/kW, and the Canadian government has spent for R&D an amount that will translate into $808/kW once Darlington is on stream. This has not been a wonderful investment for the Canadian government, but if the transfer to Ontario is taken into account, the program is just breaking even. Had electricity demand continued to grow at nearly the rate expected, the value of the CANDU might have proven itself.

Benefits and Costs to Ontario Hydro of CANDU Over Light-Water Reactors

The next best alternative to the CANDU may not be coal; it may be a light-water reactor. Ontario Hydro estimates the cost of four 850-MW CANDU reactors at $4,427/kW each, in 1995 dollars (or the equivalent of $1,075/kW in 1981 dollars); other estimates range as high as $1,700/kW (in 1981 dollars). The range of costs for light-water reactors for different reactor projects is wider than for Canadian CANDU reactors. Moreover, U.S. cost figures include the interest cost during construction, calculated at the average cost of the firm's capital. Since U.S. firms add this amount to their rate base when the plant is commissioned, they have every incentive to enter the interest costs at a high rate. For many nuclear reactor programs in the United States, the imputed interest cost totals 40 per cent of the total capital cost. Even including these items the lowest-cost reactors cost as little as $960/kW (US), whereas some reactors, because of poor management and faulty construction, will cost over $5,000/kW by the time they are finished.

On average, light-water reactors are thought to cost about the same amount as the dry costs of a CANDU reactor (about $1,350/kW in 1981 dollars). The initial heavy-water charge makes the CANDU more expensive than a light-water reactor.

The benefit side of the calculation is due to EMR. Energy, Mines and Resources estimates the present value of the savings favouring the CANDU at $232 million (at 7.5 per cent) for an 850-MW CANDU reactor (Canada, EMR 1982, p. 54). The benefit is derived from the lower operating costs of the CANDU since it does not use enriched uranium. It also assumes that the operating experience of the CANDU is better than that of the light-water reactor. This assumption, though true for the average U.S. light-water reactor, is not true of the best ones. Since the capacity is related to the quality of the utility operating the power station, one ought to assume that Ontario Hydro would build and operate light-water reactors to the same high standards as the CANDU. In this connection, the most successful U.S. utility in the nuclear business is Duke Power. This utility builds and operates its own station, much as Ontario Hydro does.

On the basis of average figures, an optimistic measure of the net benefit to Ontario is $41/kW after the cost of the heavy-water charge is accounted for. The benefit is $278/kW from lower operating and fuelling costs, before capital costs are deducted. A significant component of capital cost is the cost of heavy water which for an 850-MW reactor is given by Energy, Mines and Resources (1981*b*, p. 34) to be $155.5 million (1978 dollars). This figure is below the 20 per cent of dry costs often reported to be the cost of the initial heavy-water charge. It is based on a price of $203/kilogram heavy water, which is considerably below some estimates that run as high as $330/kilogram. Of course, at the moment the opportunity cost of heavy water is virtually zero since Canada has an enormous stock of heavy water. But the measurements offered here prodvide a retrospective of the cost of the CANDU program compared with non-CANDU alternative sources of energy. In these circumstances, it is appropriate to count tne full cost (capital and operating) of heavy-water production as a charge to the CANDU program. With the full costs of heavy water included, Ontario Hydro's incremental capital cost for one kilowatt hour of additional capacity (relative to the alternative of a light-water reactor) is $237/kW. The average cost to Canada in R&D expenditures is $1,053/kW before Darlington comes on stream and $809/kW afterwards. Since after Darlington, Ontario will have just under 15 GW of nuclear-generating capacity, the benefit from CANDU to Ontario totals just $615 million (in 1981 dollars), and the cost to the Canadian government is about $12 billion (in 1981 dollars). These findings are set out in Table 6-4 (in units of kilowatts per hour of installed capacity).

Table 6-4

Costs and Benefits to Ontario and Canada from the CANDU Reactor Program Relative to Coal and Light-Water Generated Electricity (1981 Dollars per kilowatt Hour of Installed Capacity)

	Coal	Light water
1. R&D cost	809	809
2. Ontario Hydro's incremental cost of building a CANDU station	294-471	237
3. Incremental cost to Canada (R&D plus capital)	1,103-1,280	1,034
4. Benefit to Ontario from lower operating and fuelling costs	1,176	278
5. Net savings to Ontario (row 4 minus row 2)	882-705	41
6. Net savings (losses) to Canada (row 4 minus row 3)	73-(104)	(756)

Assuming that all federal costs are sunk, it would require about 80 GW of CANDU capacity to be installed before the sunk cost could be said to have been recovered in the sense that the present value of savings enjoyed over the next best alternative equals the full cost of the R&D effort. At the present time the most optimistic forecasters predict no more than 20 GW capacity in Canada by the year 2000. CANDU reactors sold abroad are not included in the above cost/benefit discussion because at commercial rates of finance, it is doubtful whether any sales to date have been profitable for Canada. The one operating reactor outside Ontario (the one in New Brunswick) should be added to this analysis; but since it has just recently come on stream, it is difficult to write as if the people of New Brunswick have already benefited from CANDU. In any event, adjustments to the findings reported here for Ontario would be minor.

The above cost/benefit analysis is relevant to the decision that the government must make in the near future about the CANDU's future. In the late 1950s, the government decided to invest many hundreds of millions of dollars in venture capital on the future of a new technology. The cost/benefit analysis indicates that the high hopes held for the venture have failed to materialize. The best that can be said for the economics of the CANDU is that it did stimulate research and development in Canada, and it allowed Canadians to participate in nuclear engineering research without leaving home.

CANDU's Future

At the time the CANDU project was initiated, the technology was in its infancy, but its market prospects seemed to be limitless. Today, the technology is reasonably well developed, but the market prospects are dim. The market has disappeared, and it is uncertain to what extent it may return after a decade. When the market recovers, fission could be on the verge of being pre-empted by fast-breeder and later fusion technologies. It is less certain still whether the CANDU will be competitive with the other classes of fission reactors on the market or under development. In the late 1950s the government established a mission-oriented firm with a technological imperative – make the CANDU a viable economic reactor. This seemed to be the right decision for the time. Since the domestic market was thought to be sufficiently large to sustain a viable manufacturing industry in Canada and the market was guaranteed to AECL, success on the technological front assured commercial success. Today the picture is quite different. Technological successes in research and development might help, but AECL's mandate is much broader. Over the next decade, it must position the CANDU and other improved CANDUs in world markets. The present marketing strategy of AECL will not sustain the CANDU through the next decade, nor will it turn CANDU into a serious rival to other producers. At the moment, CANDU relies on the domestic market and on certain developing countries. Most of the developing countries where Canada has some presence will not be buying many reactors. Some that may, like Korea, have both light-water and heavy-water reactors in operation and could easily play one vendor off against another. They have recently announced their intention to do more of the reactor manufacturing work at home (see "South Korea plans to keep nuclear work," *The Globe and Mail*, August 31, 1984, p. b4). All other developed countries have industries of their own and will be seeking to protect their home markets, while selling aggressively in foreign markets.

In the face, then, of a small potential market and determined rivals in world markets, the CANDU is boxed in. The domestic market will not, as it did in the 1950s, justify a major research and development program. Unless AECL aims at selling in foreign markets, it would be foolhardy to expend large sums to improve the CANDU. Without such expenditures, though, the CANDU is unlikely to even hold on to the domestic market; so

AECL's choices are limited. It either develops a marketing strategy that offers some hope of expanding the market for the CANDU, or it forms some sort of alliance with a foreign reactor developer. The first alternative requires a sizeable investment, which the writer argues below cannot be undertaken unless about $6 billion is spent over the next 10 years. The $6 billion figure is a ball-park "stab in the dark," but I think it helps to focus attention on the dimension of the problem. The second option – i.e., to seek an alliance with other developers – is less expensive. It offers less scope for profit should the market rebound and, against all odds, CANDU remains competitive 10 years from now. On the other hand, the second strategy may ensure that AECL's research abilities are put to effective use and that a Canadian reactor industry participates in the research and production of the next generation of Canadian nuclear reactors.

The reactor industry will certainly go through a shakeout over the next decade or two. Will the CANDU survive the restructuring of the international industry? The "go it alone" approach requires AECL to increase its research and development activity, and to develop "credibility" in world markets. To achieve credibility it needs to continue to sell during the present drought and to demonstrate a safety record and operating experience second to none. In the complex international market, even such achievements will not assure the CANDU's future. The truest test of the CANDU's credibility demands that the CANDU be licensed for construction in the United States.

CANDU in the U.S. Market

There is more to be gained than credibility for the CANDU among potential customers in developing countries. The best potential market for the CANDU outside Ontario is the U.S. market. Here, negotiations over free trade and access to the U.S. market should maintain access to that market for the CANDU. Similar efforts in Europe and Japan have less chance of success. Moreover, as reported above, around the turn of the century, the U.S. utilities are likely to be ordering between 150 GW and 400 GW of power-generating capacity.

It will be expensive to seek credibility for the CANDU. Research will need to be stepped up. More importantly, reactor orders will need to be won at concessionary prices or with AECL accepting most of the risk. The U.S. utilities are cautious about ordering nuclear reactors because their regulatory process for setting electricity rates makes it difficult for the utility to finance construction. A return to turnkey projects would do much to revitalize the market. The risk here is high, but that is part of what seeking credibility entails.

Financial Implications of Sustaining the CANDU Industry

Is there much chance of recovering the required investment? The writer's guess is that the enterprise is not worth considering without a willingness to commit some $4 billion between now and 1995. Since these expenditures will generate no cash flow until well after 1995, the opportunity cost of the $4 billion (at a 7.5 per cent real rate) is about $6 billion. Nor does this amount include the losses on normal so-called export financing guarantees and concessions. It is not useful to justify in detail so vaguely arrived at a figure as the $6 billion. The $400-million expenditure each year envisioned here is split between additional research, development, the demonstration of new concepts, and the large subsidies needed to gain a toehold in the U.S. market.

At the real rate of 7.5 per cent, break even is achieved when AECL earns a return of about $1 billion each year between 1995 and 2025. At an order rate of 4 GW (about five 850-MW reactors), sales would need to earn a premium of $250 per kilowatt (measured in today's dollars). This amount is about 15 per cent of the 1984 capital cost of one kilowatt of installed nuclear-generating capacity. This sort of premium can be earned if the market strengthens sufficiently and if, in the meantime, other nuclear reactor producers withdraw from the race. Unfortunately, other reactor producers, especially the Japanese, in a consortium with Westinghouse and General Electric, show no signs of withdrawing. Nor are the Germans or the French likely to exit. But it is conceivable that CANDU will succeed in lowering its capital costs to the point where its cost advantages on the operating side of the equation confer on it a 15 per cent advantage over other producers. This sort of premium will not be recovered in Third World markets, where all producer countries dump their products. This is one reason why every opportunity to establish a presence in the U.S. market is worth considering.

The premium required to break even falls as the volume of orders rises. It is not out of the question that orders could rise to three or four times the 4 GW per year suggested here. Certainly the investment is ill-advised if the most that one can expect is to break even. The purpose of the investment is to stay afloat in the expectation that market recovery will bring many more orders than 4 GW per year. But 4 GW is not an insignificant amount, and it is quite possible that even the level of 40 GW over 10 years will not be reached.

Other considerations weigh against the investment. A 7.5 per cent real rate hardly seems the sort of hurdle to use for an investment that carries with it so much risk. More importantly, the success of the investment depends upon AECL's prowess as a strong strategic marketer. The organizational study reported here does not give one the confidence that AECL has the orientation for this. AECL has reformed itself since 1978. Is there enough change to warrant undertaking a new challenge as daunting and risky as was the decision for a small country like Canada to pursue the CANDU in the first place? It will come as no surprise to any reader who has come this far in this paper that the writer has serious reservations as to whether a Crown corporation is the proper instrument for so large and risky a public investment.

The second strategy entails seeking partners, whether for CANDU or someone else's technology. Its main virtue is that it is likely less expensive than the first. It may allow AECL to participate in the commercialization of a technology that has a larger guaranteed market or greater credibility in the open market, or both. Where such a partner is to be found makes the option problematical. It is reported in the press, and Professor Meneley confirms that AECL is seeking such a relationship with the Japanese. Atomic Energy of Canada may not be valuable in the eyes of potential partners, given that no income can be anticipated for almost a decade. Moreover, there would be loss of prestige associated with the sale of AECL or its entry into a joint venture with an offshore producer. It would be easier if the partner were a government-owned producer. One can imagine the political outcry that would result from combining AECL with a U.S. multinational. Another virtue of this option is that if a partner cannot be found, there is every reason to question the wisdom of proceeding with the first option.

7 Conclusion

A Crown corporation has been found to be an unsuitable instrument for a new, technologically complex, high-risk industry when the corporation must achieve both recognition and scale by selling in an unprotected and disputed international market. When CANDU was first considered for commercialization, it was thought probable that the technology could be profitably exploited for the Canadian economy alone. Moreover, it was not yet clear that rival producers had a better "mousetrap" to offer. In those circumstances, the firm selected to develop the CANDU should properly have been, first and foremost, a "mission-oriented" research organization like NASA. But when exploitation of a technology depends upon success in an oligopolistic world-scale industry, government enterprises are at a disadvantage.

The public firm is weak because senior managers are unable to implement long-term market strategies. They are dominated by the firm's constituencies. The government, because it remains the sole source of finance, retains the key levers and restricts the options available to the management of a public firm. When it is time to plunge into international markets or else to withdraw from contention, senior managers in a public firm are likely to depend for sustenance instead upon a protected domestic market base. This is a realistic assessment of how difficult it is to integrate politicians into the firm's planning and to make tough decisions in the inevitable "fishbowl" of public life.

By contrast, in entrepreneurial industries, successful business leaders act with a high degree of independence from their constituents. Major firms attain independence for top management by diversifying their product markets and their sources of finance. The managers signal their commitment to the long-term interests of the shareholders by having a large equity stake in the firm and through incentive compensation schemes in the particular project. Their self-interest is also bound to the firm, since they have usually risen through the ranks.

Since competition in entrepreneurial industries takes the form of swift rivalry for dominance, victory will go to the successful strategist. Having a good "mousetrap" helps, but it is not sufficient to assure success. Strategy for success in rivalry among giants from which only a handful will survive, requires managers with imagination, verve, prowess, and staying power. The successful strategist is a firm that initiates change, scans for opportunities, and is experimental and flexible. A firm that is a reactor incapable of articulating a viable long-term strategy or of adopting the appropriate organizational culture and that is overzealously committed to counterproductive strategies is unlikely to be in the industry when the "shake-out" is complete.

In the nuclear reactor business, Westinghouse has from the outset been the "mover and the shaker." It "loss-leadered" nuclear power stations on a turnkey, fixed-price basis; it guaranteed the price of uranium under long-term sales contracts; and it licensed its technology and entered joint ventures in France, Japan, and elsewhere. General Electric pursued similar strategies.

In its nuclear reactor program, Canada has displayed no similar capacity for marketing entrepreneurship. It focused on Ontario and did not diversify its market options. Though that was a natural step for a mission-oriented and risk avoiding firm, a commercial "venturer," with the knowledge that long-run survival is unlikely if based solely on the domestic market and aiming at the world market, would have acted differently. When it realized late in the day that it would lose credibility at home and abroad if it failed to sell reactors outside Canada, AECL concentrated its marketing efforts on countries with weak economies. Third World markets have predictably become a dumping ground in which manufacturers with protected home markets sell at concessionary prices when they have excess capacity or when they are seeking scale through marginal sales abroad.

Because AECL was convinced that industrial countries would protect their home markets, it stayed out of the U.S. and German markets. Those large markets for reactors should have been entered because in both countries there were opportunities to sell to privately-owned utilities. More vigorous development of the CANDU during the late 1960s might have led to success for Canada in the United Kingdom or France, where prestige tended to exclude foreign technologies. Now France has become a dominant force in the light-water reactor technology it acquired from the United States, and the United Kingdom is also moving in the U.S. direction.

The most damaging marketing failure during the critical years between 1964 and 1974 was the cavalier attitude to heavy-water development and pricing. Though fears about the supply and cost of heavy water was the Achilles heel of the CANDU program, no dramatic steps seem ever to have been taken to dispel customer concerns about its cost and availability. The U.K. rejection of the CANDU in the early 1970s is alleged to have been due to the cost of heavy water and the risk of producing it in highly populated areas (see Milne and Pearce 1983). In the mid-1960s, when customers were worried that the CANDU might leak heavy water, AECL should have guaranteed supplies at its own expense. Later, when AECL was able to establish that CANDU is leakproof, it should have guaranteed firm concessionary prices for heavy water.

At this moment in time, quite substantial sums are needed if CANDU is to survive until the nuclear reactor market recovers perhaps after 1995. Perhaps the industry should be allowed to struggle along, staying busy refurbishing Pickering and working on the odd foreign sale like the one to Romania and the possible sale to Turkey. The private sector is reported to have only $240 million in specialized capital facilities committed to the CANDU, but the work force comprises highly skilled workers who would certainly find alternative employment. Much of the dedicated capital would likely find alternative uses. But if the industry does not receive a major financial infusion to carry it into the next century, it is unlikely to survive. A dormant industry cannot be brought back to life unless all CANDU's rivals also top their research and development work. There is little prospect of that happening, and new reactor concepts are being demonstrated, while efforts are being made to improve old ones.

It is by no means certain that the market for nuclear power will revive, though all indications are that a modest revival is due after 1995. Even if there is a revival, however, there is no guarantee that CANDU will be able to compete with its rivals, even for sales in the Canadian market. If CANDU is to be allowed to wither and AECL to join the class of firms described in the venture capital industry as "the living dead," consideration should be given to a merger of all or part of AECL with Ontario Hydro. Alternatively, if the government should choose to invest heavily in a new effort to prepare for the next round of reactor orders, then some form of privatization of all or part of AECL should be seriously considered. Another option is for Canada to find a partner for AECL from among a group of foreign nuclear firms – private or public. A joint venture could reduce the research and development costs of a new generation of reactors and present a larger captive market in which to sell.

This study does not provide a sufficient basis for deciding on either AECL's or CANDU's future. What is needed is a far broader effort to forecast alternative futures for nuclear power than is available here. What we have concluded from this case study of AECL is that a Crown corporation is not an attractive instrument for fostering the dynamic development of comparative advantage when commercialization must take place in competition with both private and public firms sponsored by other governments worldwide. Greater consideration should be given to channelling government support for commercializing new technologies to private enterprises.

Notes

CHAPTER 4

1 In a private communication, Professor D. A. Meneley, disputes this judgement. He advises that any attempt to sell CANDU in the United States during the 1960s would have run afoul of the U.S. licensing authorities. Concepts not favoured by the U.S. Navy, Westinghouse, and General Electric were eliminated. Possibly so, but it remains true that I found no evidence of an effort during the 1960s to overcome U.S. parochialism through government pressure or to subsidize sales in European markets like Germany, or to seek partners in order to internationalize the development of CANDU.

CHAPTER 5

1 Don McFetridge points out that I am less than clear about an appropriate real rate of discount. Throughout the paper I use a real rate of 7.5 per cent, which is the social rate of discount used also by the Department of Energy, Mines and Resources (1981*b*; 1982). The confusion over rates is understandable because the OECD study uses a 5 and 10 per cent rate. Ontario Hydro studies usually forecast nominal interest rates and prices, from which the real rate is inferred. The real rate used by one Ontario Hydro study was as low as 2 per cent during the same period. France in the 1960s used a 9 per cent real rate as a hurdle rate when evaluating investments in electricity-generating capacity. Given this range of rates that have been used to evaluate the cost effectiveness there is no wonder that confusion might prevail about the true cost of nuclear power.

CHAPTER 6

1 It is true, as one reader of this study has pointed out, that the subsidy to Ontario Hydro also includes relief from legal liability for damages caused by a nuclear accident. By statute, there is a maximum amount a utility and a reactor manufacturer could be forced to pay in the event of an accident (see Nuclear Liability Act, June 1970). This subsidy is certainly substantial, but it is difficult to quantify. In this study the subsidy is overlooked because it is relevant only when comparing nuclear power costs with coal-generated power costs. Since in Ontario light-water reactors are the best alternative to the CANDU, the insurance subsidy provided by the Canadian government would apply in both cases and would not affect a comparative analysis unless one system is inherently safer than the other, a position supporters of the CANDU would dispute. Nevertheless, it is true that any economic advantage that nuclear power in any form may have relative to coal-fired power stations should be reduced by an estimate of the value of the insurance provided free of charge by Canadian taxpayers and unwittingly by residents in the vicinity of a nuclear power station.

List of Tables and Chart

Tables

3-1 Canada's Domestic Nuclear Power Program 16
3-2 Summary of Export Sales, by Country 19
4-1 Federal Government Expenditures to Support Nuclear Energy Research and Development, Canada, 1947-82 (Current and 1981 Dollars; Expenditures Funded by Appropriations) 24
4-2 Status of Canadian Heavy-Water Capacity 26
4-3 Growth of Nuclear Power in the United States, 1955-76 30
4-4 Estimated Losses on Nuclear Reactor Turnkey Projects 30
4-5 Capital Costs of Nuclear Units Coming on Line in the United States, 1968-74 31
4-6 International Comparison of the Timing of Nuclear Technology (Development, Demonstration, and Dissemination) 34
4-7 Estimated Worldwide Utilisation of Nuclear Reactors Production Capacity in the 1980s 36
4-8 Share of the Nuclear Reactor Market, by Vendor, 1980 37
5-1 The Evolving Pattern of Nuclear Capacity Projections to 1985 and 1990 44
5-2 Net-Installed Nuclear Capacity, by Country, Actual and Estimates for Selected Years, 1978-2000 45
5-3 Forecasts for Nuclear Reactor Orders in Ontario Compared with World Market to Year 2000 46
5-4 Hypothetical Cost Ratios of Coal to Nuclear Energy for Producing Electricity, Ontario Hydro (1995 Dollars) 50
6-1 Federal Expenditures to Finance Heavy-Water Plant Construction and Heavy-Water Production 51
6-2 Federal Financing of Commercial Nuclear Reactors in Canada: Cash Outflows, Repayments, and Amounts Outstanding 52
6-3 Federal Government Expenditures on Prototype Reactors 53
6-4 Costs and Benefits to Ontario and Canada from the CANDU Reactor Program Relative to Coal- and Light-Water Generated Electricity (1981 Dollars per kilowatt Hour of Installed Capacity) 55

Chart

4-1 Ontario East System Capacity and Peak-Demand Scenarios 35

Bibliography

"A breeder reactor that may melt away." 1982. *Business Week* (September 6):30-31.

"Administration articulates a new nuclear strategy." 1984. *Public Utilities Fortnightly* (June 7):39-40.

ADDINALL, E. and H. ELLINGTON. 1982. *Nuclear Power in Perspective*. London: Kogan Page Publishers.

AHEARNE, John F. 1984. "Prospects for the U.S. nuclear reactor industry." *Annual Review of Energy* 8:355-84.

AIKEN, A. M. 1970. "Marketing nuclear power plants." Canadian Nuclear Association Annual Conference 70-CNA-647.

ALBERTA WHITE PAPER. 1984. Proposals for an *Industrial and Science Strategy for Albertans, 1985-1990* (July).

ALCHIAN, A. A. and H. DEMSETZ. 1972. "Production, information costs and economic organizations." *American Economic Review*, Vol. LXIII, pp. 777-95.

ALLISON, David. 1969. *The R&D Game*. Cambridge, Mass.: MIT Press.

ALLISON, Graham T. 1971. *Essence of Decision, Explaining the Cuban Missile Crisis*. Boston, Mass.: Little, Brown and Company.

ALWARD, Peter T. 1981. *CANDU: Sales and Safeguards*. Ottawa: Library of Parliament (May 26).

"American fast breeder faces a sterile future." 1982. *New Scientist* (September 30):895.

ANDERSON, A. 1984. "Lawsuit dismissed" and "Operation of power plants." *Nature* 31, No. 5976 (August 2):357.

ANDREWS, Robert. 1982. "Power failure: Why we can't sell nuclear." *Canadian Business* 55, No. 11 (November):133-36.

"Are utilities obsolete? A troubled system faces radical change." 1984. *Business Week* (May 21):116-19.

ASHLEY, C. A. and R.G.H. SMAILS. 1965. *Canadian Crown Corporations: Some Aspects of Their Administration and Control*. Toronto: Macmillan.

ATOMIC ENERGY OF CANADA LIMITED. 1968. Submission to the Senate of Canada Special Committee on Science Policy, October 1968. In *Proceedings of the Special Committee on Science Policy* (October 30-31, 1968):647-1047, including a brief by Eldorado Nuclear, p. 893.

______. 1983. Management and Control Practices. Policy #10302 (November).

______. 1984. Executive Resources Plan. Policy #20102 (May).

"Attention focusses on Pickering rupture." 1983. *Nuclear Engineering International* (October):9-10.

BACHAND, Raymond C. 1981. "Boards of Directors in Canadian government enterprises: An exploratory research." Ph.D. Thesis, Graduate School of Business Administration, Harvard University. Ann Arbor, Michigan: University Microfilms International, 1984.

BAINBRIDGE, G. R.; D. PAHLEY; D.T.H. ROWLANDS; and C. V. WAGSTAFF. 1968. "Factors affecting costs of nuclear power stations." *International Comparison of Nuclear Power Costs*. Vienna: International Atomic Energy Agency, pp. 139-54.

BALDWIN, John R. 1975. *The Regulatory Agency and the Public Corporation*. Cambridge, Mass.: Ballinger Publishing.

______. 1984. "Regulation versus public enterprise as an instrument of government policy: A transactions failure analysis." Queen's University, Kingston, Ont. Mimeographed.

BANERJEE, S. and L. WAVERMAN. 1978. "Life cycle costs of coal and nuclear generating stations." Report submitted to the Royal Commission on Electric Power Planning. Toronto (July).

BARKENBUS, Jack N. 1983. "Is self-regulation possible?" *Journal of Policy Analysis and Management* 2(Summer): 576-88.

BEIGIE, Carl E. and Judith MAXWELL. 1977. "Quebec's vulnerability in energy." C. D. Howe Research Institute, Accent Quebec, Montreal.

BERLE, A. A. Jr. and Gardiner C. MEANS. 1982. *Modern Corporations and Private Property*. Reprint of 1933 edition, xiii, 396 pages. Business Enterprises Reprint Services.

BORINS, S. F. and B. BOOTHMAN. 1984. "Crown corporations and economic efficiency." Mimeographed. Forthcoming in background papers for The Royal Commission on the Economic Union and Canada's Economic Development, Vol. 3.

BOS, Dieter. 1981. Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems in *Economic Theory of Public Enterprise*. Berlin, Heidelberg and New York.

BRADFORD, David L. and Allan R. COHEN. 1984. *Managing for Excellence*. New York: John Wiley.

BRADY, Rosemary. 1984. "The sorcerer's apprentice." *Forbes* (September 24):106,110.

BRODY, M. 1981. "Nuclear fizzle? Costs, risks of atomic power may escalate past point of no return." *Barron's* 61 (August 24):4-5.

BROOKES, Leonard G. and Moma MOTAMEN (eds.). 1984. *The Economics of Nuclear Energy*. London/New York: Chapman and Hall.

BRUCE, Geoffrey F. 1975. "Salvation or Armageddon? The dilemma of nuclear power." *International Perspectives* (May/June):31-36.

BUGLER, Jeremy. 1976. "Windscale's fuel for controversy." *New Statesman* 92 (November 26):740-41.

______. 1977*a*. "Nuclear politics in France." *New Statesman* (August 26):266-67.

______. 1977*b*. "Nuclear civil war." *New Statesman* 94 (November 4):603-604.

BUPP, I. C. 1980. "The French nuclear harvest: Abundant energy or bitter harvest?"*Technology Review* (November/ December):30-9.

______. 1981. "The actual growth and probable future of the worldwide nuclear industry." *International Organization* 35, No. 1 (Winter):54-76.

BUPP, I. C. and Jean-Claude DERIAN. 1978. *Light Water: How the Nuclear Dream Dissolved*. New York: Basic Books.

BURN, D. 1978. *Nuclear Power and the Energy Crisis: Politics and the Atomic Industry*. London: Macmillan.

BURN, Duncan and Barbara EPSTEIN. 1972. *Realities of Free Trade: Two Industry Studies*. Toronto: University of Toronto Press and George Allen and Unwin Ltd.

BURNS, Janet Marie Frances. 1980. "A public choice theory perspective of the Canadian nuclear industry." Thesis, University of Carleton, Ottawa.

BURNS, Tom and G. M. STALKER. 1971. *The Management of Innovation*. 3rd ed. London: Tavistock Publications.

BUZZELL, R. D.; B. T. GALE; and R.G.M. SULTAN. 1975. "Market share – A key to profitability." *Harvard Business Review* (January/February):97-106

CAMILLERI, Joseph A. 1982. *The Political Economy of Nuclear Power: Comparative Study*. London: Wheatsheaf Books.

______. 1984. *The State and Nuclear Power: A Comparative and International Perspective*. Seattle: University Washington Press.

CAMPBELL, H. F. 1982. "A benefit/cost rule for an additional public project in Canada." Ph.D. Dissertation, Queen's University, Kingston, Ontario.

CANADA. DEPARTMENT OF ENERGY, MINES AND RESOURCES. 1973. *An Energy Policy for Canada – Phase 1: Volume I – Analysis* and *Volume II – Appendices*. Ottawa: Information Canada.

______. 1978. *Energy Strategy for Canada: Policies for Self-Reliance*. Ottawa: Supply and Services Canada.

______. 1981*a*. *Energy Update*. April 1981. Report ER81-4E. Ottawa: EMR.

______. 1981*b*. *Nuclear Policy Review: Background Papers*. Report ER81-2E. Ottawa: Supply and Services Canada.

______. 1982. *Nuclear Industry Review: Problems and Prospects, 1981-2000*. Ottawa: Supply and Services Canada.

CANADA. DEPARTMENT OF FINANCE. 1984. *A New Direction for Canada*. Ottawa: Dept. of Finance.

CANADA. DEPARTMENT OF INDUSTRY, TRADE AND COMMERCE. 1978. Report by the *Task Force on CANDU Export Marketing (Douglas Report)*. Ottawa: IT&C.

"Canada looks for exports." 1983. *Nuclear Engineering International* (August):4.

CANADA. ROYAL COMMISSION ON THE ECONOMIC UNION AND DEVELOPMENT PROSPECTS FOR CANADA. 1985. *Report*. Vols. 1, 2, and 3. Ottawa: Supply and Services Canada.

CANADA. TASK FORCE ON FEDERAL POLICIES AND PROGRAMS FOR TECHNOLOGY DEVELOPMENT. 1984. *Report* of the Chairman, Douglas Wright, to Edward C. Lumley, Minister of State. Ottawa: Supply and Services Canada.

"Canada's nuclear future stands on exports." 1981. *Nuclear Engineering International* 26 (July):11-12.

CANADIAN NUCLEAR ASSOCIATION. 1981. *Nuclear Power in Canada: Questions and Answers*. 2nd ed. Toronto: CNA Publishers.

CARMICHAEL, Jeffrey. 1981. "The effects of mission-oriented public R&D spending on private industry." *The Journal of Finance* 36 (June):617-27.

CASTERTON, James A. 1980. "The international dimensions of the Canadian nuclear industry." M.A. Thesis, Norman Paterson School of International Affairs, Carleton University, Ottawa.

CAVANAUGH, H. A. 1984. "How do private and public CEO salaries compare?" *Electrical World* (August):27-29.

CAVES, Douglas and Laurits R. CHRISTENSEN. 1980. "The relative efficiency of public and private firms in a competitive environment: The case of Canadian railroads." *Journal of Political Economy* 88(5):953-76.

CHASE, Dennis J. 1975. "Clouding the nuclear reactor debate: A commentary." *Bulletin of the Atomic Scientists* (February):39-40.

CHOW, Brian G. 1977. "The economic issues of the Fast Breeder Reactor Program." *Science* (February 11):551-56.

CICHETTI, J. and Wm. J. GILLEN. 1977. Ontario Energy Board. Exhibit #11. Ontario Hydro evidence presented on behalf of the Attorney General of Canada. Toronto (May 16).

CLARKSON, Ken and Donald L. MARIN (series editors). 1980. *The Economics of Nonproprietary Organizations*. Supplement 1, in Research in Law and Economics. Greenwich, Conn.: JAI Press.

COCHRAN, T. B. 1974. *The Liquid Metal Fast Breeder Reactor: An Environmental and Economic Critique*. Resources for the Future. Washington D.C.: U.S. Government Printing Office.

COLLINGRIDGE, D. 1984*a*. "Lessons of nuclear power: French 'success' and the breeder." *Energy Policy* (June):189-200.

______. 1984*b*. "Lessons of nuclear power: U.S. and U.K. history." *Energy Policy* (March):46-67.

COOK, Franklin H. 1969. "Public ownership: United Kingdom vs. United States." *Public Utilities Fortnightly* 84 (December 18):26-34.

COOK, James. 1985. "Nuclear follies." *Forbes* 135 (February 11):82-96.

COTTRELL, Sir Alan. 1981. *How Safe is Nuclear Energy?* London: Heinemann Educational Books Ltd.

CREW, M. A. 1983. *Regulatory Reform and Public Utilities*. Lexington, Mass.: Lexington Books.

DAY, M. C. 1975. "Nuclear energy: A second round of questions." *Bulletin of the Atomic Scientist* (December):52-59.

DEALESSI, Louis. 1969. "Implications of property rights for government investment choices." *American Economic Review* 59 (1969):13-24.

______. 1974*a*. "An economic analysis of government ownership and regulation: Theory and the evidence from the electric power industry." *Public Choice* 19 (Fall):1-42.

______. 1974*b*. "Managerial tenure under private and government ownership in the electric power industry." *Journal of Political Economy* 82 (May/June):645-53.

______. 1975. "Some effects of ownership on wholesale prices of electric power." *Economic Inquiry* 13 (December):526-38.

DELEON, Peter. A. 1976. *Cross Comparison of Nuclear Development Strategies*. Santa Monica, Calif.: Rand Corporation, p. 20.

______. 1980. *Development and Diffusion of the Nuclear Power Reactor: A Comparative Analysis*. Cambridge, Mass.: Ballinger Publishing.

DENTON, H. R. 1983. "Nuclear power, epilogue or prologue?" *Energy Journal* 4 (January):139-41.

"Developing reactor designs for the 1990's." 1983. *Nuclear Engineering International* (June):46-47.

DICKSON, David. 1982. "Europe's fast breeders move to a slow track." *Science* 218 (December 10):1094-97.

______. 1984. "France invites U.S. participation on breeders." *Science* 224 (May 18):697.

DICKSON, Douglas (ed.). 1983. *Managing Effectively in the Global Marketplace*. New York: John Wiley.

DOERN, Bruce G. 1976. *The Atomic Energy Control Board*. Study for the Law Reform Commission. Ottawa: Supply and Services Canada, Chapters 2 and 3.

______. 1980. *Government Intervention in the Canadian Nuclear Industry*. Canadian Atomic Energy Policy. Montreal: IRPP.

______. 1984. "Atomic Energy of Canada Ltd.: Selected performance issues." Paper presented to the Symposium on Crown Corporations, Carleton University, Ottawa (June 1).

DOERN, Bruce G. and Robert W. MORRISON (eds.). 1980. *Canadian Nuclear Policies.* Proceedings of a November 1978 Conference. Montreal: IRPP.

DOERN, Bruce G. and Gordon SIMS. 1980. "Atomic Energy of Canada Ltd." Chapter 2 of "Spending tax dollars: Federal expenditures, 1980-81," edited by Bruce G. Doern. School of Public Administration, Carleton University, Ottawa, pp. 49-73.

DONALDSON, Gordon and Jay W. LORSCH. 1983. *Decision Making at the Top.* New York: Basic Books Inc.

DOUB, W. O. and J. M. DUKERT. 1975. "Making nuclear energy safe and secure." *Foreign Affairs* 53 (July):756-62.

DOUGLAS, Carole. 1984. "The economics of contamination." *The Atlantic* (October):29-36.

"Downsizing nuclear plants." 1980. *Business Week* 2662 (November 10):114.

DUDERSTADT, James J. and Chihiro KIKUCHI. 1979. *Nuclear Power Technology on Trial.* Ann Arbor: University of Michigan Press.

DUFFY, Gloria C. and Gordon ADAMS. 1978. "Power politics: The nuclear industry and nuclear exports." *Council on Economic Priorities.* Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office.

DUFFY, John. 1980. "Can the slowpoke do what CANDU can't?" *Canadian Business* 53, No. 8 (August):27-32.

EDWARDS, Gordon [Chairman of Canadian Coalition for Nuclear Responsibility]. 1982. "Cost disadvantages of expanding the nuclear power industry." *The Canadian Business Review* 8, No. 1 (Spring).

EFFORD, Ian E. and Barbara M. SMITH (eds.). 1971. *Energy and the Environment.* H. R. MacMillan lectures. Institute of Resource Ecology, University of British Columbia, Vancouver.

EGAN, J. R. 1981. "Nuclear power: The future of small reactors." *Current* 241 (March/April):31-35.

EGGLESTON, Wilfred. 1965. *Canada's Nuclear Story.* Toronto: Clark Irwin.

ELLIS, Randall P. and Martin B. ZIMMERMAN. 1983. "What happened to nuclear power: A discrete choice model of technology adoption." *The Review of Economics and Statistics* 65 (May):234-42.

EVANS, Nigel and Chris HOPE. 1983. *Nuclear Power: Futures, Costs and Benefits.* Cambridge, Mass.: Cambridge University Press.

FAGNANI, Jeanne and Jean-Paul MOATTI. 1984. "The politics of French nuclear development." *Journal of Policy Analysis and Management* 3 (Winter):264-75.

FISCHHOFF, Baruch. 1983. "'Acceptable risk': The case of nuclear power." *Policy Analysis and Management* 2 (Summer):559-75.

FLAVIN, Christopher. 1984*a*. *Electricity's Future: The Shift to Efficiency and Small-Scale Power.* Worldwatch Paper 61. Worldwatch Institute, Washington, D.C.

______. 1984*b*. "Reassessing the economics of nuclear power." *Interciencia* 9 (July/August):192-205.

FLEMING, James. 1984. "CANDU's Turkish connection." *Macleans* (October):36.

FONG, J.V.C.; J. Basu ROY; G. N. MEEHAND; and G. F. McINTYRE. 1982. *Cost Comparison of CANDU Nuclear and Coal-Fuelled Generating Stations.* Report #620SP. Toronto: Ontario Hydro.

FORD FOUNDATION. 1974. *Exploring Energy Choices.* Energy Policy Project. Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office.

______. 1979. *Energy: The Next Twenty Years.* Cambridge, Mass.: Ballinger Publishing.

FORD, Daniel. 1982. *Cult of the Atom.* New York: Simon and Schuster.

FORD, Daniel et al. 1973. *The Nuclear Fuel Cycle: A Survey of the Public Health, Environment and National Security Effects of Nuclear Power.* Union of Concerned Scientists. Cambridge, Mass.

FORD-MITRE REPORT. 1977. *Nuclear Power: Issues and Choices.* Nuclear Energy Policy Study Group. Cambridge, Mass.: Ballinger Publishing, Chapters 8 and 9.

FOREMAN-PECK, James and Michael WATERSON. 1985. "The comparative efficiency of public and private enterprise in Britain: Electricity generation between the wars." *Economic Journal* 95(March):83-95.

FORTUNE, R. F. 1978. "Canadian experience in the international nuclear power market." International Comparison of Nuclear Costs. Proceedings of International Atomic Energy Agency Symposium, London, England (October 1976). Vienna: IAEA, pp. 155-71.

"Framatome 600-MWE nuclear island for export markets." 1981. *Nuclear Engineering International* 26 (Spring):33-39.

"France: Atomic amour." 1981. *The Economist* 280, No. 7202 (September 21):50.

"France: A two-pronged spur for nuclear reactor." 1981. *Business Week* (February 23):50-52.

FREEMAN, S. David. 1983. "Reinventing the nuclear wheel." *Across the Board* (October):30-34.

"Future dubious for CANDU exports." 1979. *Nuclear Engineering International* (September):5.

Generation Nuclear. 1977. Submission to the Royal Commission on Electric Power Plannings, Final Hearings (June).

"Germany's turning point for nuclear energy?" 1981. *Business Week* (February 23):50-52.

"Getting rid of it." 1982. *The Economist* 283, No. 7239 (May 29):93-94.

GOLAY, Michael W. 1984. "Rx for nuclear power: An agenda for improving present-day reactors." *Technology Review* 87 (February/March):49-51.

GOLDSCHMIDT, B. 1982. *The Atomic Complex: A Worldwide Political History of Nuclear Energy*. Illinois: American Nuclear Society, 1982.

GORDON, Marsha. 1981. *Government in Business*. Montreal: C. D. Howe Institute, Chapter 6, pp. 169-79 and 186-91.

GOULD, Jay M. 1984. "The future of nuclear power." *Monthly Review* 35 (February):7-14.

GRANLI, Lief et al. *Nuclear Power and Safety*. New York: Columbia University Press.

GREEN, R. E. and R. M. WILLIAMS. *Nuclear Energy – One Road to Self-Sufficiency*. Atomic Energy of Canada Report AECL-6963. Ottawa: AECL.

GRILICHES, Zvi. 1979. "Issues in assessing the contribution of research and development to productivity growth." *Bell Journal of Economics* 10(1):92-116.

GUMMER, W. K. 1982. *Regulation of the Canadian Nuclear Industry*. Ottawa: Atomic Energy Control Board.

HARRIS, Richard G. 1984. "Trade, industrial policy and international competition." Report prepared for the Royal Commission on the Economic Union and Development Prospects for Canada (February).

"Heavy water: Special issue." 1966. *Nuclear Engineering International* (June):11, 121.

HELLMAN, Richard and Caroline J. C. HELLMAN. 1983. *The Competitive Economics of Nuclear and Coal Power*. Lexington, Mass.: Lexington Books.

HILL, Phillip G. 1977. *Power Generation: Resources, Hazards, Technology, and Costs*. Cambridge, Mass.: MIT Press.

HINTON, Christopher. 1955. "The Graphite Moderated Gas Cooled Pile." *Power Reactors*. Vol. 3. New York: United Nations.

HIRSHHORN, Ronald. 1984. "Government enterprise and organizational efficiency." Economic Council of Canada, Ottawa. Mimeographed.

HOME OIL COMPANY LIMITED. 1969. "Energy demand forecast: Canada (Ontario and Quebec), 1970 – 1985." Prepared by Home Oil Company Limited with the co-operation of Purvin and Gertz Inc. of Dallas, Texas.

HOOKER, C. A.; R. MACDONALD; R. VAN HULST; and P. VICTOR. 1981. *Energy and the Quality of Life: Understanding Energy Policy*. Toronto: University of Toronto Press.

HOYLE, Fred. 1977. *Energy or Extinction? The Case for Nuclear Energy*. London: Heinemann Educational Books Ltd.

HUG, M. 1981. "How the French program is benefiting from standardization." *Nuclear Engineering International* 26(July):29-32.

HUNT, Constance D. 1977. "Canadian policy and the export of nuclear energy." *University of Toronto Law Journal* 17 (1977):69-104.

HYDRO-QUÉBEC. 1980. *A Strategy for the 80's*. Montreal: Hydro-Québec (December 16).

JACKSON, H. A.; L. W. WOODHEAD; and G. R. FANJOY. 1983. "Economics of Candu-PHW." Ontario Hydro Report NGD-10. Toronto: Ontario Hydro.

JAUCH, Lawrence R. A. 1983. "A descriptive inventory of some cutting edge research on strategic management." Souther Illinois University-Carbondale. Mimeographed.

JENKINS, Glenn P. 1980. "Public utility finance and economic waste." Harvard Institute for International Development. Harvard University. Unpublished paper.

JENNEKENS, Jon H. F. 1979. "Nuclear energy in Canada: In search of the definitive inquiry." Presentation to the Society of AECL Professional Engineers, Whiteshell Nuclear Research Establishment, Pinawa, Manitoba (October 4, 1979). Ottawa: Atomic Energy Control Board.

JENSEN, Michael C. and Richard S. RUBACK. 1983. "The market for corporate control: The scientific evidence." *Journal of Financial Economics* (April).

JENSEN, Michael C. and Clifford W. SMITH, Jr. (eds.). 1984. *The Modern Theory of Corporate Finance.* New York: McGraw-Hill.

JENSEN, Michael C. and Jerold L. ZIMMERMAN (eds.). 1985. "Symposium on management compensation and the managerial labor market in honor of William H. Meckling." *Journal of Accounting and Economics* 7 (April).

JOSKOW, Paul L. 1976. "The international nuclear industry today." *Foreign Affairs* 54, No. 4 (1975-76):788-803.

______. 1977. "Commercial impossibility: The uranium market and the Westinghouse case." *Journal of Legal Studies* 6 (January):119-76.

JOSKOW, Paul L. and G. ROZANSKI. 1979. "The effects of learning by doing on nuclear plant operating reliability." *Review of Economics and Statistics* 61, No. 2 (May):161-68.

JOSKOW, Paul L. and Richard SCHMALENSEE. 1983. *Markets for Power: An Analysis of Electric Utility Deregulation.* Cambridge, Mass.: MIT Press.

KAKU, Michio and Jennifer TRAINER. 1982. *Nuclear Power: Both Sides.* New York: W. W. Norton & Co.

KAMIEN, Morton I. and Nancy L. SCHWARTZ. 1982. *Market Structure and Innovation.* Cambridge, Mass.: Cambridge University Press.

KAY, Neil M. 1982. *The Evolving Firm.* New York: St. Martin's Press.

KECK, Otto. 1980. "Government policy and technical choice in the West German reactor programme." *Research Policy* 9:335.

KEELEY, James F. 1980. "Canadian nuclear export policy and the problems of proliferation." *Canadian Public Policy* 6 (Autumn):614-27.

KIKUNSKI, J. M.; W. D. KAY; and D. S. METLAY. 1982. "Citizen knowledge and choices on the complex issue of nuclear energy." *American Journal of Political Science* 76:615-42.

KNELMAN, F. H. 1976. *Nuclear Energy: The Unforgiving Technology.* Edmonton: Hurtig Publications.

KNOX, Richard. 1981. "CANDU and power costs compared in Canada." *Nuclear Engineering International* 26 (August):25-26.

KOMONOFF, Charles. 1977. *Power Plant Cost Escalation: Nuclear and Coal Capital Costs, Regulation and Economics.* New York: Komonoff Energy Association.

KREUGER, Anne O. 1974. "The political economy of the rent-seeking society." *American Economic Review* 64:291-303.

LANGFORD, W. J. and H. K. RAE. 1980. "Some highlights of R&D at AECL." Ottawa: AECL Report, AECL-6954.

LANOUETTE, William J. 1980. "The 'CANDU' reactor from Canada – Can it do the job down here?" *National Journal* 12(June 28):1061-63.

LEBLOND, D. 1980. "Taking the lead in nuclear power." *Petroleum Economist* 47 (February):52-54.

______. 1984. "European energy report." *Petroleum Economist* 51 (February):62-63.

LECRAW, Donald J. 1984*a*. "Industry decline and growth: Industrial policy and corporate strategy." Report prepared for the Royal Commission on the Economic Union and Development Prospects for Canada, February 1984 (revised May 1984).

______. 1984*b*. "Industrial policy in the United States: A survey." Report prepared for the Royal Commission on the Economic Union and Development Prospects for Canada, February 1984 (revised June 1984).

LEGAULT, Albert. 1976. "Nuclear policy should be more open and less ambiguous." *International Perspectives* (January/February):8-13.

______. 1978. "Arrangements and techniques to safeguard nuclear material." *International Perspectives* (September/October):24-27.

LENY, J. C. 1979. "Single suppliers chosen for efficiency." *Nuclear Engineering International* (March):54-62.

LEONARD AND PARTNERS. 1978. "Economic impact of nuclear energy industry in Canada. Executive summary." Canadian Nuclear Association, Ottawa.

LESTER, Richard. 1983. "Japan's lead in nuclear power." *Wall Street Journal* (November 16):30.

______. 1984. "Rx for nuclear power: The need for nuclear innovation." *Technology Review* 87 (February/March):45-48.

LICHTENBERG, Frank R. 1984. "The relationship between federal contract R&D and company R&D." *American Economic Review* 74 (May):73-78.

LIDSKY, Lawrence M. 1984. "Rx for nuclear power: The reactor of the future?" *Technology Review* 87 (February/March):52-56

LILIENTHAL, David E. 1980. *Atomic Energy: A New Start*. New York: Harper and Row.

LONROTH, Mans and William WALKER. 1979. "The viability of the civilian nuclear industry." International Consultative Group on Nuclear Energy, and sponsored jointly by the Rockefeller Foundation and the Royal Institute on International Affairs. New York and London, respectively.

LORTIE, Pierre and R. SCHWEITZER. 1981. *A Strategy for the Development and Strengthening of the Canadian Nuclear Industry*. Final Report. Montreal: Secor Inc.

LUCAS, Alastair R. and Trevor BELL. 1977. *The National Energy Board: Policy, Procedure and Practice.* Report prepared for the Law Reform Commission of Canada. Ottawa: Supply and Services Canada.

LUCE, Charles F. 1983. "Where is the electric utility industry headed in the 1980s?" *Public Utilities Fortnightly* (June 23):15-19.

LYNEIS, James M. and Dominic M. GERAGHTY. 1984. "Electric utility strategies for the eighties: Taking advantage of a 'window of opportunity.'" *Public Utilities Fortnightly* (May 24):17-23.

MACKENZIE, James J. 1984. "Rx for nuclear power: Finessing the risks of nuclear power." *Technology Review* 87 (February/March):34-44.

MACNABB, G. M. 1975. *Nuclear and Uranium Policies.* Proceedings of Canadian Nuclear Association Annual Conference, p. 20.

MALATESTA, Paul H. 1983. "The wealth effect of merger activity and the objective functions of merging firms." *Journal of Financial Economics.*

MANSFIELD, Edwin and Lorne SWITZER. 1984. "Effects of federal support on company financed R&D: The case of energy." *Journal of Management Science.*

MARCUS, Gail M. 1983. "Japan, Inc. and Nuclear Power." *Public Utilities Fortnightly* 5, No. 112 (September 29):40-42.

"Maritime lays plans for Point Lepreau 2." 1983. *Nuclear Engineering International* (November):12.

MARSCHAK, Jacob and Sam H. SCHURR (eds.). 1950. *Economic Aspects of Atomic Power*. Cowles Commission for Research in Economics. Princeton: Princeton University Press.

MARSHALL, Elliot. 1982. "The perils of Clinch River." *Science* 218 (October):137-38.

______. 1984. "The secret recipe of GE's reactor safety study." *Science* 225 (July):294.

MARTENSSON, M. 1968. "A statistical analysis of the construction costs of a nuclear power plant." International Comparison of Nuclear Power Costs. Proceedings of a symposium, London (October 1967). Vienna: International Atomic Energy Agency, pp. 125-28.

MARTINO, Joseph P. 1983. *Technological Forecasting for Decision Making*. 2nd ed. Amsterdam, New York, Oxford: North-Holland.

MASELLA, I. M. 1984. "Rate moderation plans – cushioning rate shock." *Public Utilities Fortnightly* 113 (February):52-56.

MATHER, J. P. 1983. "World nuclear power reactor performance." Ontario Hydro Report NGD-12. Toronto: Ontario Hydro.

MATSUDA, Yasushi. 1984. "Nuclear power in Japan: Present and future." *Journal of Japanese Trade and Industry* 6 (November/December):12-26.

MCFETRIDGE, D. G. 1984. Some Thoughts on Crown Corporations: A Discussion of Issues Raised at the Symposium on Crown Corporation Performance. Mimeographed.

______. 1985. "Commercial efficiency and political efficiency: A comparison of government, mixed and private enterprises." In *Canadian Industrial Policy in Action*, ed. McFetridge. A study commissioned for the Royal Commission on the Economic Union and Development Prospects for Canada. Toronto: University of Toronto Press.

MCINTYRE, Hugh. 1979. "Conflicting estimates create uncertainties for CANDU." *Energy International* 16 (May):28-30.

MEYER, M. B. 1984. "Nuclear power plant cost underestimation: Mechanisms and corrections." *Public Utilities Fortnightly* 113 (February):28-31.

MILES, Raymond E. and Charles C. SNOW. 1978. *Organizational Strategy, Structure, and Process.* New York: McGraw-Hill.

MILLER, Sarah A. 1978. "A nuclear difference: At stake is Europe's energy supply and/or the future of mankind." *European Community* (May/June):30 33.

MILLS, Mark P. and Roger STARR. 1983. "France declares energy independence." *Across the Board* 20, No. 3 (March). New York: The Conference Board Inc.

MILNE, Roger and Fred PEARCE. 1983. "Why Britain said 'No CANDU.'" *New Scientist* 98 (January):614.

MONTGOMERY, David W. and James P. QUIRK. 1976. "Cost escalation in nuclear power." National Science Foundation, Energy Research and Development Administration, Environmental Quality Laboratory. Pasadena, Calif.: California Institute of Technology.

MOSS, Norman. 1981. *The Politics of Uranium.* New York: Universe Books.

MURRAY, Alex J. (ed.). 1975. "American energy in perspective." Proceedings of the 16th annual University of Windsor seminar on Canadian-American relations (November 14-15, 1974). Windsor: University of Windsor.

NASTICH, Milan. 1981. "Cost advantages of nuclear energy in Ontario." *The Canadian Business Review* 8 (Winter):33-36.

NELLIS, R. E. 1983. "Allocating nuclear power plant costs over time." *Public Utilities Fortnightly* 112 (September):22-27.

NELSON, Richard R.; Merton J. PECK; and Edward D. KALACHEK. 1967. *Technology Economic Growtn and Public Policy.* A Rand Corporation and Brookings Institution Study. Washington D.C.: The Brookings Institution.

NELSON, Richard R. and Sidney G. WINTER. 1982. *An Evolutionary Theory of Economic Change.* Cambridge, Mass.: The Belknap Press of Harvard University Press.

NOBLE, John J. 1978. "Canada's continuing search for acceptable nuclear safeguards." *International Perspectives* (July/August):42-48.

NORDHAUS, William D. 1977. "What is the value of advanced nuclear power?" Discussion Paper 449. Cowles Foundation for Research in Economics at Yale University, New Haven, Connecticut.

"Nuclear reactors: French model." 1980. *The Economist* 277 (October 18):116.

"Nuclear power: Exit problems." 1984. *The Economist* (July 28):29.

"Nuclear export policies of major nations." 1981. *International Currency Review* 13:66-70.

O'DELL, P. R. and K. E. ROSING. 1983. *The Future of Oil.* London: Kogan Page Publishers.

OHASHI, T. M. and T. P. ROTH. 1980. *Privatization Theory and Practice* [Distributing Shares in Private and Public Enterprises]. Cases: BCRIC, Petrocan, ESOPs, GSOPs. Vancouver, B.C.: The Fraser Institute.

O'LEARY, Brian. 1975. "R&D: The thin edge of the wedge." *Bulletin of the Atomic Scientists* (October):9-14.

OLSON, McKinley C. 1976. *Unacceptable Risk: The Nuclear Power Controversy.* New York: Bantam Books.

ONTARIO HYDRO. 1981. Report #5955 (January). Toronto.

______. 1982. Report #620SP. See J.V.C. Fong et al. 1982. *Cost Comparison of CANDU Nuclear and Coal-Fuelled Generating Stations.* Toronto.

______. 1983*a*. Annual Report NGD-9. Toronto.

______. 1983*b*. Annual Report NGD-10. "Economics of CANDU-PHW." Toronto.

______. 1983*c*. Annual Report NGD-12. "World nuclear power reactor performance." Toronto.

"Ontario Hydro diversifies into tritum." 1983. *Nuclear Engineering International* (June):32-33.

ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD). 1982. *Nuclear Energy Prospects to 2000.* Report of the Nuclear Energy Agency and the International Atomic Energy Agency. Paris: OECD.

______. 1983*a*. "NEA Activities in 1982." Eleventh activity report of the Nuclear Energy Agency. Paris: OECD.

______. 1983*b*. "Nuclear Legislation – Canada." Nuclear Energy Agency. Nuclear Legislation Analytical Study. Regulatory and Institutional Framework for Nuclear Activities. Paris: OECD, pp. 37-52.

______. 1984. "Energy Statistics – Canada." International Energy Agency. Energy Statistics and Main Historical Series. Paris: OECD, pp. 22, 24.

______. 1985*a*. *Nuclear Third Party Liability and Insurance: Status and Prospects.* Nuclear Energy Agency and International Atomic Energy Agency. Proceedings of the Munich Symposium (September 10-14, 1984). Paris: OECD.

______. 1985*b*. *Nuclear Power and Public Opinion*. Report by the Nuclear Energy Agency Secretariat. Paris: OECD.

PALDA, Kristian S. 1984. *Industrial Innovation: Its Place in the Public Policy Agenda*. Vancouver: The Fraser Institute.

PAPPS, Ivy. 1975. *Government and Enterprise*. Hobart Papers #61. London: Institute for Economic Affairs.

PATTERSON, Walter C. 1976. *Nuclear Power*. Harmondsworth Mdsx, England: Penguin Books.

PEACOCK, Don. 1976. "Selling CANDU to Britain: A venture in public diplomacy." *International Perspectives* (January/February):3-8.

PEARCE, Fred. 1982*a*. "Critical time for Sizewell's reactor." *New Scientist* 95 (July 22):216-17.

______. 1982*b*. "Nuclear watchdog warns of Sizewell hazards." *New Scientist* 95 (July 15):139.

PERRY, Robert (ed.). 1977. *Development and Commercialization of the LWR, 1946-76*. Santa Monica, Calif.: Rand Corporation.

"Pickering shut down for tube test." 1983. *Nuclear Engineering International* (December):13.

"Point Lepreau goes independent?" 1983. *Nuclear Engineering International* (May):12-13.

PORTER, Arthur. 1978. (Chairman) "A race against time: Interim report on nuclear power in Ontario." Report of the Chairman of the Royal Commission on Electric Power Planning, Toronto.

______. 1980. *Report of the Royal Commission on Electric Power Planning: Concepts, Conclusions, and Recommendations*. Vol. 1. Toronto.

PORTER, Michael. 1980. *Competitive Analysis: Techniques for Analyzing Industries and Competitors*. New York: The Free Press.

POSEY, Carol. 1984. "On the Uranium trail." *The Atlantic* (June):22-24 and 29-30.

POTTER, William C. 1982. *Nuclear Power and Nonproliferation Technology and Economics of Nuclear Power*. Cambridge, Mass.: Oelgeschlager, Gunn and Hain Publishers.

PRICHARD, J. Robert S. (ed.). 1983. *Crown Corporations in Canada: The Calculus of Instrument Choice*. Ontario Economic Council. Toronto: Butterworths.

PRYKE, R. 1971. *Public Enterprise and Practice*. London: MacGibbon and Kee.

"Quadrupling of energy production costs predicted." 1984. *Oilweek* (July 23):8.

RAE, Bob. 1983. "Is free wheeling hydro insulated from reality?" *Globe and Mail*. National edition (October):7.

RAMO, Simon. 1980. *The Management of Innovative Technological Corporations*. New York and Toronto: John Wiley.

RIBICOFF, Abraham A. 1976. "A market-sharing approach to the world nuclear sales problem." *Foreign Affairs* 54 (4):763-87.

ROBERTSON, J.A.L. 1978. "The CANDU reactor system: An appropriate technology." *Science* 199, No. 4329 (February 10):657-64.

______. 1984. Brief to the Task Force on Federal Policies and Programs for Technology Development (March 14, 1984). Ottawa: AECL Research Company.

ROTH, Eli B. 1984. "Review of the state and nuclear power: Conflict and control in the western world, by J. A. Cammilleri." *Nature* 310 (July 26):342-43.

RYLE, Sir Martin. 1982. *Is There a Case for Nuclear Power?* London: Mernard Press.

SASSOON, E. 1982. "Japanese Policy for Energy and Raw Materials." *International Review of Economics and Business* 29 (December):1152-68.

SAYLES, Leonard R. and Margaret K. CHANDLER. 1971. *Managing Large Systems, Organizations for the Future*. New York: Harper & Row.

SCIENCE COUNCIL of CANADA. 1979. *Roads to Energy Self-Reliance*. Ottawa: Supply and Services Canada.

SHORROCK, Tim. 1982. "How the South Korean energy program has been saving the U.S. nuclear industry: U.S. taxpayers have paid, through Eximbank, $2.5 billion for Westinghouse sales." *Multinational Monitor* 3 (March):20-22.

SIMS, Gordon. 1979. "The evolution of AECL." M.A. thesis (unpublished). Carleton University, Ottawa.

______. 1981. *A History of the Atomic Energy Control Board*. Ottawa: Supply and Services Canada.

SLIGL, V. R. [Ontario Hydro]. 1982. "Cost comparison of 4 by 500-MW Coal-Fueled and 4 850-MW CANDU nuclear generating stations." *American Nuclear Society Transactions* 41 (1982), Supplement 1.

"Small CANDU is designed for export." 1983. *Nuclear Engineering International* (November):10.

SMART, Ian (ed.). 1982. *World Nuclear Energy: Toward a Crisis of Confidence*. The Royal Institute of International Affairs. Baltimore and London: The Johns Hopkins University Press.

SMITH, Derek. 1982. "A reactor designed for Sizewell." *New Scientist* 96 (October):236-39.

SMITH, Graham J. 1984. "Crown corporations and the marketing overseas of science and technology intensive goods and services: Brief observation on work in progress." Unpublished manuscript.

"South Korea plans to keep nuclear work." 1984. *Globe and Mail* (August 31):b4.

STEWART-PATTERSON, David. 1984. "Huge costs build up on AECL stockpile." *Globe and Mail* (August 20).

SWEET, Colin. 1983. *The Price of Nuclear Power*. London: Heineman.

SWIFT, Diana. 1983. "Nuclear medicine: AECL's lifesavers get a great reaction in world markets." *Canadian Business* 56 (May):21-22.

TAVEL, Charles. 1980. *The Third Industrial Age: Strategy for Business Survival*. 2nd ed. Translated by Donald C. Caldwell. Oxford: Pergamon Press.

"To Breed or not to Breed: Plutonium is the question." 1977. *The Economist* (October 15):22-23.

TOOZE, Sarah. 1982. "Modest advance (German nuclear power)." *Nature* 298 (August 26):793.

TREBILCOCK, Michael J. et al. 1982. *The Choice of Governing Instrument*. A study prepared for the Economic Council of Canada. Ottawa: Supply and Services Canada.

TWISS, Brian C. 1982. *Managing Technological Innovation*. 2nd ed. London and New York: Longman Group Limited.

UNITED STATES GENERAL ACCOUNTING OFFICE. "Questions on the future of nuclear power: Implications and trade offs." Washington, D.C.

UNITED STATES DEPARTMENT OF COMMERCE. 1982. "French reaffirm commitment to development of nuclear power." *Business America* 5, No. 21 (October 18).

UNITED STATES DEPARTMENT OF ENERGY. 1982. "Analysis of the Department of Energy's Clinch River Breeder Reactor Cost Estimates." Washington, D.C.

______. 1983. "Completing the Dept. of Energy's water-cooled breeder program." Report to Energy Research and Production, Committee on Science and Technology, House of Representatives. Washington, D.C.: U.S. General Accounting Office.

UNITED STATES NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES, OFFICE OF INFORMATION. 1979. "Risks associated with nuclear power; a critical review of the literature." Washington, D.C.

UNITED STATES STANDING SENATE COMMITTEE ON NATIONAL FINANCE. 1984. *Federal Government Support for Technological Advancement: An Overview*. Report of the Honourable C. William Doody, Chairman. Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office.

UNGER, Harlow. 1982. "Nuclear power struggles: The real casualty of ideological warfare is the truth." [American report]. *Canadian Business* 55, No. 6 (June):37.

VERNON, John M. 1971. *Nuclear Investment Planning in Civilian Nuclear Power*. North Carolina: Duke University Press.

VERNON, Raymond (ed.). 1974. *Big Business and the State*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.

VERNON, Raymond and Yair AHARONI (eds.). 1981. *State-Owned Enterprise in the Western Economies*. New York: St. Martin's Press.

WAKSTEIN, C. 1978. "The Windscale decision." *Political Quarterly* 49 (July):357-62.

WALGATE, Robert. 1984. "Overpowered [French nuclear energy]." *Nature* 311 (September):7.

WALKER, William and Mans LONNROTH. 1983. *Nuclear Power Struggles, Industrial Competition and Proliferation Control*. London: Allen and Unwin.

WEAVER, R. Kent. 1984. "Government enterprise in competitive markets." A paper for the Economic Council of Canada. Mimeographed.

WEBB, Ken. 1980. "Why nuclear energy? And is it safe enough?" *Canadian Geographic* 100, No. 4 (August/September):52-57.

WEINBERG, M. and I. SPIEWAK. 1984. "Inherently safe reactors and a second nuclear era." *Science* 224 (June 29):1398-1402.

"Westinghouse/Mitsubishi: Inbreeding." 1982. *The Economist* 282 (February 6):71-72.

"Westinghouse expects nuclear power revival." 1984. *Globe and Mail*, Report on Business (October 9).

WHITE, R. E. 1984. "The strategic management of commercially-oriented crown-owned companies." University of Western Ontario. London. Mimeographed.

WILLIAMSON, Oliver E. 1985. *The Economic Institutions of Capitalism*. New York: The Free Press.

WILSON, Richard. 1984. "Loose talk about nuclear power." *The Atlantic* (August):104-109.

"Windscale: Four million words later." 1978. *The Economist* 267 (March 11):72-73.

WINTER, R. K. 1978. *Government and the Corporation*. Washington: American Enterprise Institute for Public Policy Research.

WINTROBE, Ronald. 1984. "Public and private bureaucracies." A preliminary draft. Mimeographed.

WONDER, E. F. and R. W. MORRISON. 1970. "Canada's nuclear export policy." Norman Paterson School of International Affairs, Carleton University, Ottawa.

WONG, Stephen W. C. 1980. "CANDU export: Opportunities and challenges for Canada." *Energy International* 17 (February):11,12.

WOODWARD, Joan. 1965. *Industrial Organization*. New York: Oxford University Press.

"World list of nuclear power plants, operable, under construction, or on order (3 MWe and over) as of December 31, 1982." *Nuclear News* 26 (February 1983):71-90

WYMAN, Ira. 1985. "Failure at Seabrook could set off a chain reaction." *Business Week* (October):42.

WYNNE, B. E. 1982. "Rationality and revival: The Windscale inquiry and nuclear decisions in Britain." British Society for the History of Science, St. Giles, U.K. Monographs.

YOUNG, William H. 1984. "The saga of Clinch River." *Public Utilities Fortnightly* (August 2):11-20.

ZERBE, Richard O. Jr. (ed.). 1980. *Research in Law and Economics: A Research Annual*. Vol. 2. Greenwich, Connecticut: JAI Press Inc.

ZIMMERMAN, Martin B. 1982. "Learning effects and the commercialization of new energy technologies: The case of nuclear power." *Bell Journal of Economics* 13, No. 2 (Autumn):297-310.

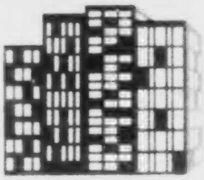
ZUKER, Richard C. and Glenn P. JENKINS. 1984. *Blue Gold – Hydro-Electric Rent in Canada*. Economic Council of Canada. Ottawa: Supply and Services Canada.

Economic Council of Canada

Conseil économique du Canada

L'Énergie atomique du Canada, Limitée

Les stratégies d'une société d'État au sein d'un marché mondial oligopolistique



George Lermer

Une étude préparée pour le
Conseil économique du Canada

Le **Conseil économique du Canada** est un organisme consultatif indépendant dont le mandat lui enjoint de faire des études, donner des avis et dresser des rapports concernant une grande variété de questions rattachées au développement à moyen et à long termes de l'économie canadienne. Le Conseil est une société de la Couronne composée d'un président, de deux directeurs et d'au plus vingt-cinq autres membres.

En tant que personne morale, le Conseil assume l'entière responsabilité du contenu de l'*Exposé annuel*, ainsi que de certains autres rapports qui sont clairement désignés comme étant des *Rapports du Conseil*. Il publie aussi d'autres ouvrages dont le contenu est explicitement attribué à des auteurs particuliers plutôt qu'au Conseil lui-même. Ces ouvrages à nom d'auteur sont publiés dans l'une ou l'autre des collections suivantes : les *Études*, qui portent sur des sujets susceptibles d'intéresser un vaste auditoire; les *Analyses techniques*, qui traitent de questions susceptibles d'intéresser les spécialistes dans les domaines étudiés; les *Documents*, qui renferment les résultats provisoires de travaux en cours ou portent sur des sujets s'adressant à un auditoire hautement spécialisé dans le but de stimuler la discussion entre spécialistes, et les *Comptes rendus de conférences*. Le Conseil établit une politique générale touchant ces textes, mais c'est au président qu'il incombe de prendre la décision finale de faire publier, sous les auspices du Conseil, des ouvrages dans ces quatre collections.

Pour se prononcer sur la qualité et l'objectivité des ouvrages à nom d'auteur, le président est conseillé par les deux directeurs. De plus, dans le cas des études et des analyses techniques, le président et les deux directeurs sollicitent l'avis de lecteurs extérieurs spécialisés, qui remettent un rapport confidentiel sur la qualité de ces textes. Le fait de publier un ouvrage à nom d'auteur ne signifie pas que le président ou les membres du Conseil souscrivent aux conclusions ou recommandations qu'il contient, mais plutôt que l'analyse est jugée d'une qualité suffisante pour être portée à l'attention du public.

L'Énergie atomique du Canada, Limitée

George Lermer

M. George Lermer est directeur de la School of Management de l'Université de Lethbridge en Alberta. Il a reçu sa formation au Massachusetts Institute of Technology ainsi qu'à l'Université McGill. Entre 1962 et 1974, il a enseigné l'économie dans plusieurs universités canadiennes, dont l'Université de Waterloo et l'Université Concordia de Montréal. Après avoir occupé le poste d'économiste principal au Conseil économique du Canada, il a été nommé responsable, en 1976, de la Direction des ressources au Bureau de la politique de concurrence, Consommation et corporations Canada, poste qu'il a occupé jusqu'en 1981. Il est l'auteur et l'éditeur de plusieurs ouvrages et articles portant sur le capital de risque, les institutions financières, le commerce, l'organisation industrielle et la réglementation. Il a également agi à titre d'expert-conseil pour divers ministères gouvernementaux et entreprises privées, ainsi que pour le Conseil économique du Canada.

GEORGE LERMER

L'Énergie atomique du Canada, Limitée

Les stratégies d'une société d'État au sein d'un marché mondial oligopolistique

Les résultats de cette étude demeurent l'entière responsabilité de l'auteur et, en tant que tels, n'ont pas reçu l'adhésion des membres du Conseil économique du Canada.

© Ministre des Approvisionnements et Services Canada 1987

En vente au Canada par l'entremise de nos

agents libraires agréés
et autres librairies

ou par la poste auprès du :

Centre d'édition du gouvernement du Canada
Approvisionnements et Services Canada
Ottawa, Canada K1A 0S9

N° de catalogue EC22-145/1987F — au Canada : 8,95 $
ISBN 0-660-92110-3 — à l'étranger : 10,75 $

Prix sujet à changement sans préavis

Tous droits réservés. On ne peut reproduire aucune partie du présent ouvrage, sous quelque forme ou par quelque procédé que ce soit (électronique, mécanique, photographique) ni en faire un enregistrement sur support magnétique ou autre pour fins de dépistage ou après diffusion, sans autorisation écrite préalable des Services d'édition, Centre d'édition du gouvernement du Canada, Ottawa, Canada K1A 0S9.

This study is also available in English under the title: *Atomic Energy of Canada Limited*.

Table des matières

Avant-propos ix

Préface xi

1 Introduction 1

2 Justifications de la présente étude de cas 3
Objectifs de l'étude 3
La préférence accordée à l'intervention gouvernementale 3
Évaluation de la réussite de la technologie CANDU 4
Études de cas ou analyse théorique de la politique gouvernementale ? 5

3 Le choix entre l'entreprise publique et l'entreprise privée 7
Le fardeau de la preuve 7
Les considérations théoriques 7
La séparation de la fonction de gestion et de la propriété 7
Quatre mécanismes de l'organisation sociale qui modifient les coûts de la relation de mandataire 9
Les contraintes d'ordre politique 9
L'évaluation du rendement des cadres dans des marchés de produits complexes 10
L'esprit de gestion et l'esprit d'entreprise 11
L'esprit d'entreprise et l'industrie nucléaire 12
Le marché des fusions 13
Les marchés financiers internes 13
L'efficacité du jeu politique 15
Les considérations politiques 16
La comparaison entre l'intervention du secteur public et l'intervention du secteur privé dans les programmes de mise au point de réacteurs nucléaires à l'étranger 16
La transformation du programme nucléaire du Canada en un projet du secteur public 17
L'influence du nationalisme au Canada 18
La définition du mandat de l'EACL : avait-on l'intention de faire de l'EACL un laboratoire de recherche gouvernemental ou une entreprise commerciale ? 19
Le rôle grandissant de l'exploitation commerciale du CANDU 21

4 Le cadre d'une analyse de l'organisation 25
La stratégie de l'entreprise 25
La gestion stratégique 25
Les marchés financiers 26
Les marchés des produits 26

L'organisation 26
La motivation des cadres 27
L'EACL et le marché financier 28
L'aide financière du gouvernement fédéral 28
Le déplacement de l'autorité vers le gouvernement 28
L'organisation de l'EACL 30
La gestion de systèmes techniques complexes 30
L'attention insuffisante accordée à l'eau lourde 30
Les changements survenus à l'EACL depuis 1978 31
Le marché des produits 33
La diversification 33
L'intégration 33
La stratégie visant le marché des produits 34
La détermination de la stratégie : production à coûts plus avantageux, production différenciée, production orientée 34
L'industrie nucléaire des États-Unis et de la France 35
Les antécédents de l'industrie américaine 35
Le fléchissement de la demande de réacteurs nucléaires 38
Les répercussions à l'étranger du programme d'énergie nucléaire des États-Unis 39
Le programme nucléaire français : une réussite ou un échec 39
La stratégie canadienne de commercialisation du CANDU 40
Le peu d'importance accordée à la commercialisation à l'étranger 40
L'incapacité de conquérir un marché américain en plein essor 43
Le rôle de l'eau lourde dans l'échec commercial du CANDU 44
La lenteur à mettre en service une centrale de démonstration 44
Le rôle d'Hydro-Ontario 45
Résumé 45
L'industrie nucléaire est-elle nécessairement d'envergure mondiale ? 46
La courbe d'expérience 46
La réputation et la crédibilité 46
Les caractéristiques distinctives du réacteur CANDU 47
L'Ontario au premier plan 48
Les coûts d'implantation sur le marché américain 48
Les intérêts politiques de l'Ontario 49

5 La stratégie de l'entreprise dans un marché en régression 51
Les aspects de la régression de la demande de réacteurs nucléaires 52
Les types de réacteurs concurrents 55
La comparaison entre le charbon et l'uranium : l'énergie nucléaire est-elle concurrentielle ? 56
L'analyse de Hydro-Ontario 57
L'analyse de l'OCDE 57
Les résultats d'une analyse faite aux États-Unis 58
Les taux d'intérêt réels utilisés par Hydro-Ontario 58
Les évaluations du ministère de l'Énergie, des mines et des ressources 59

6 Une analyse coûts-avantages rétrospective et prospective 61

Une estimation des coûts de R-D de la filière CANDU 61
Une comparaison des coûts et avantages d'une centrale CANDU et d'une centrale thermique à charbon pour Hydro-Ontario 63
Une comparaison des coûts et avantages d'un réacteur CANDU et d'un réacteur à eau légère pour Hydro-Ontario 64
L'avenir du CANDU 66
L'implantation du réacteur CANDU sur le marché américain 67
Les conséquences financières du maintien du programme CANDU 67

7 Conclusion **69**

Notes **71**

Liste des tableaux et graphique **73**

Bibliographie **75**

Avant-propos

La présente étude a été entreprise dans le cadre du projet de recherche du Conseil sur l'entreprise publique. Le but général de ce projet – dont les résultats ont été publiés fin 1986 sous le titre *L'État entrepreneur – Une étude des sociétés d'État au Canada* – était d'améliorer nos connaissances au sujet des sociétés détenues et contrôlées aux paliers fédéral et provincial, gérées de façon autonome par rapport au gouvernement, et ayant d'importantes fonctions commerciales. Plus précisément, le projet devait permettre de répondre à deux questions bien précises : quel rôle convient à l'entreprise publique en tant qu'instrument, entre autres, de la politique publique ? Et, deuxièmement, comment devrait être structuré l'appareil de contrôle au sein du gouvernement afin de tirer le meilleur parti possible de cet instrument ?

Le projet de recherche comprenait à la fois un examen des questions générales concernant la propriété du gouvernement et une étude de la performance d'entreprises et secteurs particuliers. La présente monographie de George Lermer est le résultat de l'une des études de cas préparées dans le cadre du projet. Les difficultés qui ont affligé l'industrie canadienne des réacteurs nucléaires ont, au fil des ans, constitué un dossier considérable. Dans son étude, le professeur Lermer présente une évaluation des coûts et des avantages du système CANDU et examine d'une façon plus générale le recours à une entreprise publique pour la mise au point et la commercialisation d'une technologie complexe. Comme la mise au point du réacteur CANDU était nécessairement un processus long et coûteux et comportait un risque commercial particulièrement élevé, elle correspondait au genre d'initiative qui nécessite présumément une intervention ou un appui du gouvernement. L'expérience d'Énergie atomique du Canada, Limitée constitue une bonne mine de connaissances sur les avantages et les dangers que comporte une telle intervention, lorsque celle-ci revêt la forme d'une entreprise publique.

George Lermer est l'auteur de nombreux écrits sur l'économie et la politique publique canadiennes. Il est actuellement directeur de la School of Management de l'Université de Lethbridge.

Judith Maxwell
Présidente

Préface

Étant donné leur grand nombre, il m'est impossible de nommer toutes les personnes qui m'ont aidé à rédiger la présente étude. En outre, comme j'envisage l'avenir de l'industrie canadienne des réacteurs nucléaires avec un certain pessimisme, je ne suis pas sûr que toutes les personnes que j'ai consultées aimeraient voir leur nom associé à mes travaux. De façon plus précise, cette étude révèle que les perspectives de rentabilité associées à l'exportation de la technologie CANDU ne sont guère réjouissantes. Ce constat découle en partie du fait que la société d'État, a-t-on établi, est une forme d'organisation qui ne convient pas à la commercialisation d'une nouvelle technologie dans un marché international hautement concurrentiel. Dans le passé, les contraintes et les horizons politiques ont influé sur le choix de la structure que l'Énergie atomique du Canada, Limitée (EACL) devait adopter et ont, à mon avis, amené l'EACL à se concentrer, de façon fort peu judicieuse, sur la mise au point de la filière CANDU à l'intention du seul marché canadien. La société n'a pas saisi l'importance de se bâtir une réputation en faisant de la technologie CANDU une réussite commerciale sur les marchés internationaux et de rassurer les acheteurs étrangers éventuels qui s'inquiètent de la présence de lacunes importantes dans la filière CANDU. Malgré la réorganisation de l'EACL amorcée en 1978, il y a peu de raisons de croire que l'EACL parviendra aujourd'hui à modifier le bilan commercial négatif des réacteurs CANDU.

La présente étude renferme une nouvelle analyse coûts-avantages pour déterminer l'ampleur de la réussite ou de l'échec de l'EACL et fournir des données de référence pour décider s'il y a lieu de procéder à de nouveaux investissements publics pour soutenir l'industrie. À l'heure actuelle, malgré les nombreuses déceptions qu'a suscitées la mise au point de la filière CANDU, il semble que cette technologie soit moins coûteuse que le charbon en Ontario. Le gouvernement de l'Ontario économise environ 800 $/kW (en dollars de 1981) en optant pour la technologie CANDU de préférence au charbon, tandis que le gouvernement fédéral a investi une somme à peu près équivalente dans le programme de recherche-développement de l'EACL, investissement qui s'est avéré profitable aux seuls consommateurs d'électricité ontariens. Cependant, en se substituant à la technologie nucléaire CANDU, il est possible que le charbon n'ait pas été la meilleure alternative comme moyen de produire de l'électricité. La société Hydro-Ontario aurait pu préférer à la filière CANDU un réacteur à eau légère. On estime que le gouvernement de l'Ontario économise *au plus* un montant très modeste, tout juste 41 $/kW (en dollars de 1981), en choisissant la filière CANDU plutôt qu'un réacteur à eau légère de conception américaine. Il reste que la technologie CANDU est le moyen de production qui convient le mieux à la province de l'Ontario, étant donné que celle-ci souhaite augmenter sa capacité de production, tant que la province ne prend pas en considération la part fournie par les citoyens du pays à la contribution du gouvernement fédéral. Les coûts du soutien de la R-D que le gouvernement fédéral ne pourra probablement jamais récupérer sont évalués à environ 12 milliards de dollars (en dollars de 1981), soit à peu près 800 $/kW (en dollars de 1981).

Les hommes politiques en Ontario et dans l'ensemble du Canada n'ont pu résister à la filière CANDU qui promettait en même temps d'utiliser des ressources nationales plutôt que des importations, d'être rentable et de donner au pays un projet prestigieux faisant appel à une technologie de pointe. Pourtant, il n'était pas nécessaire qu'une entreprise publique se saisisse du projet. J'ai observé que cette forme d'entreprise n'était pas à la hauteur pour commercialiser la technologie CANDU et ce, à maints égards. Malheureusement, il m'est difficile de préciser la nature de la structure optimale d'organisation.

Des recherches fouillées devront être faites sur les structures de gestion appropriées dont on aura besoin pour diriger l'exécution de grands projets technologiques et pour les commercialiser. Bien que ces fonctions fassent partie du menu quotidien des grandes entreprises, de nombreuses réussites et de nombreux échecs restent incompréhensibles. En rédigeant cette préface, je me suis rappelé l'ouvrage qu'ont publié Sayles et Chandler (1971) sur la National Aeronautic and Space Administration (NASA), une organisation qui est aujourd'hui en lambeaux sinon totalement anéantie. Cet ouvrage est l'un des rares que j'ai pu trouver sur les problèmes aigus que pose la gestion de projets technologiques complexes, sans parler de leur commercialisation. Il m'est revenu également en mémoire une déclaration de Oliver Williamson (1985) selon laquelle nous sommes bien peu renseignés sur la façon dont les structures bureaucratiques affrontent les coûts des transactions. Selon ce spécialiste, de nombreux ouvrages ont été publiés sur les lacunes des marchés, mais relativement peu d'auteurs se sont intéressés à la question des lacunes de la bureaucratie (p. 149). En outre, Williamson conclut que l'étude de l'organisation économique dans un contexte d'innovation constante soulève des questions beaucoup plus difficiles (p. 143) et il espère que les analyses de cas extrêmes (peut-être comme celui de la mise au point de la technologie CANDU par l'EACL) seront d'une aide précieuse aux érudits qui s'efforcent de développer la théorie des formes d'organisation optimales. Je souhaite, par la présente étude, répondre à l'appel de Williamson, mais, au même moment, je jette un éclairage nouveau sur des questions précises ayant trait à la politique de mise au point des réacteurs nucléaires au Canada, questions qui figurent presque en permanence au programme du gouvernement fédéral.

Ron Hirshhorn et Abe Tarasofsky, du Conseil économique du Canada, ont été les instigateurs de la présente étude et ont apporté une aide précieuse tout au long de sa réalisation. Je suis reconnaissant à Don McFetridge, Graham Smith et Don Meneley pour les commentaires qu'ils ont formulés au sujet d'une version antérieure, même si ces personnes estiment que seules des modifications mineures ont été apportées à la version finale par suite de leur contribution. Trois lecteurs anonymes ont influencé la réalisation de la présente étude, principalement sur le plan de l'organisation et de la présentation. Je tiens à remercier de leur aide des cadres de Hydro-Ontario et de l'Énergie atomique du Canada, Limitée; ces personnes n'ont pas critiqué mon analyse et, pour des raisons évidentes, mes constatations ne les enthousiasment pas, pour le moins. Des employés du ministère de l'Énergie, des mines et des ressources spécialisés dans le secteur nucléaire ont également fourni un apport non négligeable. Gail Kembel s'est occupée en grande partie de dactylographier la présente étude et cela me fait plaisir de la remercier pour les efforts déployés afin de respecter des délais souvent serrés. J'aimerais également remercier Toby Lermer et Jill Sinkewich, qui m'ont aidé à rassembler la documentation sur laquelle s'appuie l'étude. Enfin, j'aimerais souligner le travail remarquable des rédacteurs du Conseil économique du Canada, qui ont transformé une version antérieure en un texte de grande qualité.

L’Énergie atomique du Canada, Limitée

1 Introduction

L'Énergie atomique du Canada, Limitée (EACL) est un organisme créé par le gouvernement du Canada, dont le but premier est de commercialiser la filière nucléaire CANDU (le sigle de *CAN*ada-*D*eutérium-*U*ranium). Dans la présente étude, le rendement de l'EACL a été examiné sous trois angles différents, à savoir la théorie de l'organisation, la stratégie commerciale et l'analyse coûts-avantages. La théorie de l'organisation permet de déterminer comment les éléments qui composent la structure d'une organisation contribuent à réduire les transactions et les coûts des matières nécessaires à la production. On se sert ici de cette théorie pour identifier les caractéristiques qui, dans le contexte d'une entreprise privée, paraissent favoriser une réduction des coûts. Ensuite, on effectue une étude comparative des caractéristiques de l'organisation de l'EACL. La revue des ouvrages sur la stratégie commerciale permet un tour d'horizon des conseils qui peuvent aider les gestionnaires à améliorer le rendement financier de l'entreprise. Ces conseils s'inspirent de différents modèles et principes de réussite puisés dans de nombreuses études de cas et applicables aux entreprises commerciales. L'examen de la stratégie commerciale permet de savoir si l'EACL a mis en pratique les conseils tirés de l'analyse des stratégies et, si ce n'était pas le cas, pourquoi il devait en être ainsi. Enfin, l'analyse coûts-avantages offre un moyen de calculer les bénéfices nets que les projets peuvent engendrer. Cette analyse permet, aux fins de la présente étude, de déterminer si les fonds publics déjà investis dans la mise au point de la filière CANDU ont produit un rendement satisfaisant pour les contribuables et s'il y a lieu d'investir davantage. Bien que l'analyse coûts-avantages ne soit pas l'objet principal de l'étude, elle est le seul moyen de mesurer quantitativement la réussite ou l'échec de l'EACL.

Au chapitre 2 sont exposées les justifications d'une autre étude de l'EACL. Cette étude a pour but d'évaluer le bien-fondé de la thèse selon laquelle une société d'État serait en mesure de mettre efficacement en valeur les avantages relatifs dont jouissent les industries à l'avant-garde de la technologie. Ce chapitre explique en détail la faveur accordée à cette politique publique au Canada et la fréquence à laquelle les résultats du projet CANDU sont invoqués pour justifier un investissement accru des fonds publics dans les industries de technologie de pointe.

Le chapitre 3 met en perspective la présente étude de cas pour ensuite faire ressortir les facteurs théoriques et politiques qui influent sur l'efficacité relative de l'entreprise publique par rapport à l'entreprise privée. La section du chapitre traitant des considérations théoriques présente clairement les principes d'organisation qui président au choix entre l'entreprise publique et l'entreprise privée, tandis que la section traitant des considérations politiques explique pourquoi le gouvernement du Canada a décidé de recourir à l'entreprise publique pour commercialiser la filière CANDU.

Le chapitre 4 fournit d'abord un aperçu des concepts de gestion stratégique tels qu'ils sont appliqués à l'EACL. Dans les sections qui suivent, on explique comment la capacité de l'EACL de déterminer sa propre stratégie est tributaire premièrement, de son marché de capitaux, deuxièmement, de ses effectifs, et troisièmement, du marché de ses produits. Une autre section décrit comment l'industrie nucléaire des États-Unis et celle de la France ont élaboré des stratégies bien définies. Cette dernière section sert à introduire celles en fin de chapitre qui décrivent l'échec de la stratégie canadienne de commercialisation de la filière CANDU. En effet, l'EACL s'est d'abord orientée vers le marché intérieur sans se préoccuper du marché de l'exportation, notamment vers les pays industrialisés. La stratégie commerciale de l'EACL était centrée sur l'Ontario et les pays en voie de développement auprès desquels on devait insister sur les différences entre la filière CANDU et les caractéristiques des produits concurrents.

L'EACL n'a pas réussi à mettre en œuvre une stratégie efficace durant une période de demande croissante de centrales nucléaires. À l'heure actuelle, la demande fléchit et il est souvent plus difficile d'élaborer une stratégie dans de telles conditions. Cet aspect du problème fait l'objet du chapitre 5 qui traite à la fois de la demande en baisse des réacteurs nucléaires et des perspectives commerciales. Il prend ensuite en considération les deux principaux facteurs de concurrence, d'abord les caractéristiques des autres types de réacteurs et, ensuite, le coût des centrales électriques alimentées au charbon.

Au chapitre 6 sont fournis de nouveaux calculs des coûts et des avantages de la filière CANDU; les résultats mènent à conclure que la technologie CANDU n'a pas réussi à s'imposer sur le plan financier et qu'elle ne permettra probablement pas de rentabiliser les investissements supplémentaires requis pour lui assurer ultérieurement une réussite commerciale.

Les conclusions de l'étude sont présentées au dernier chapitre.

2 Justifications de la présente étude de cas

Objectifs de l'étude

La présente étude de cas a pour objet d'examiner l'évolution du projet de la filière nucléaire CANDU (*CAN*ada-*D*eutérium-*U*ranium) de l'Énergie atomique du Canada, Limitée (EACL). Malgré les innombrables publications sur l'EACL, la filière CANDU et l'industrie des réacteurs nucléaires, il reste encore à déterminer si les tentatives du Canada de commercialiser la filière CANDU ont été une réussite ou un échec. Récemment, un auteur a conclu que la technologie CANDU n'avait peut-être pas encore atteint un seuil de rentabilité économique ni même fourni des avantages nets pour la société (Palda, 1984, p. 101). Cette conclusion contredit celles avancées par de nombreuses études qui considèrent le projet CANDU comme une réussite. L'étude de M. Palda contient, entre autres,un calcul supplémentaire détaillé des sommes investies par le gouvernement fédéral dans le projet CANDU.

Il n'est pas nécessaire de multiplier les raisons qui justifient une analyse coûts-avantages d'une entreprise aussi controversée que l'EACL. La curiosité que suscite cette société d'envergure dont l'actif dépasse un milliard de dollars est à elle seule une justification suffisante. Trebilcock et Prichard ont affirmé qu'en 1978, l'EACL était une société plus importante, par la valeur de ses actifs, qu'Air Canada, la Société Radio-Canada, la Banque fédérale de développement et l'Administration de la voie maritime du Saint-Laurent réunis (Prichard, ed., 1983, pp. 1 et 95). En 1978, l'actif de l'EACL, soit 1,5 milliard de dollars, correspondait à plus de 5 % de l'actif de toutes les sociétés publiques fédérales, exception faite de la Banque du Canada. Palda (1984) a décrit le projet CANDU comme étant le précurseur des projets de technologie avancée au Canada et va même jusqu'à affirmer qu'il constitue fort probablement le projet technique le plus coûteux présentement en cours (p. 100).

Bien qu'une analyse coûts-avantages soit utile en elle-même, la présente étude va encore plus loin. Elle vise principalement à dégager de l'examen d'un cas particulier des principes généraux pouvant être appliqués dans la résolution d'un problème important de politique publique. De façon générale, il s'agit ici de déterminer ce que l'on peut attendre d'une société d'État en sa capacité de commercialiser des technologies nouvelles, notamment sur le marché mondial où il faut soutenir la concurrence d'autres pays qui tentent d'établir leurs propres entreprises. La présente étude vient donc particulièrement à point puisque présentement, le gouvernement du Canada entend appuyer plus que jamais les industries du secteur de la technologie de pointe.

Plusieurs conseils, commissions ou groupes d'étude ont examiné ou préconisé l'accroissement de l'aide gouvernementale aux industries du secteur de la technologie de pointe. Le Conseil des sciences du Canada (1979), qui compte parmi ses membres plusieurs chefs de file de l'industrie, est l'un des organismes qui favorisent ouvertement l'aide gouvernementale aux industries faisant appel aux techniques d'avant-garde. La Commission royale sur l'union économique et les perspectives de développement du Canada (Commission Macdonald, 1985) a beaucoup insisté sur cette question dont l'importance a été mise en relief par la création du Groupe de travail sur les politiques et les programmes fédéraux de développement technologique (1984) et dont un premier rapport vient d'être publié. Dans le document intitulé *Une nouvelle direction pour le Canada* (Canada, Finances, 1984, p. 25), le gouvernement fédéral a fait de la recherche-développement (R-D), de l'innovation et de la diffusion de la technologie les objectifs économiques prioritaires de son mandat actuel.

La préférence accordée à l'intervention gouvernementale

L'attitude de laisser-faire qu'adopte le gouvernement fédéral à l'égard de la technologie de pointe confirme la thèse avancée par Marsha Chandler (Prichard, ed., 1983), selon laquelle les gouvernements conservateurs ont la même propension que les gouvernements libéraux à favoriser l'entreprise publique dans certains domaines d'activité. Elle signale, dans le cas des entreprises publiques provinciales, que l'incitation est une politique qui, de préférence au contrôle, s'inscrit très bien dans l'idéologie des non-socialistes. Puisque l'activité intéresse à la fois l'État et le secteur privé, la politique suppose l'intervention de l'État (Prichard, ed., 1983, p. 215).

M^me^ Chandler signale en outre que les gouvernements conservateurs ont tendance à recourir à l'entreprise publique dans quatre domaines d'activité : le développement industriel, la recherche appliquée, l'énergie et le transport. Puisque la mise au point d'un réacteur nucléaire touche trois de ces quatre domaines, il n'est pas étonnant que l'EACL et le programme CANDU reçoivent l'appui du gouvernement fédéral et des provinces, quelle que soit leur tendance idéologique. La thèse de Chandler est également confirmée par le Livre blanc récemment publié par le gouvernement de l'Alberta (Alberta, 1984). Dans ce document, le gouvernement le plus conservateur du Canada approuve des politiques qui mettent l'accent sur les industries de technologie de pointe. Dans un style qui rappelle beaucoup celui des ouvrages rédigés aux États-Unis et qui préconisent l'intervention de l'État dans l'industrie, le Livre blanc propose que le gouvernement de l'Alberta identifie les « gagnants » dans les secteurs dynamiques et accorde des subventions à des entreprises particulières. Chandler conclut également que politiquement, les entreprises publiques présentent un grand intérêt pour les deux paliers de gouvernement au Canada.

Dans les milieux universitaires, l'opinion n'est pas non plus unanimement hostile à l'intervention du gouvernement dans certains projets de technologie de pointe. Dans une étude récente préparée à l'intention de la Commission Macdonald, Richard Harris a également pris la défense de l'aide de l'État aux industries canadiennes de technologie avant-guardiste. Il a affirmé que la création de nouveaux marchés d'exportation par l'entrée d'entreprises nationales dans une industrie à concurrence mondiale suscite inévitablement des difficultés. Le Canada devrait accorder plus d'importance à une politique permettant de surmonter les difficultés posées par la transition (Harris, 1984, p. 8). Harris, bien connu par ailleurs pour ses études exposant les avantages pour le Canada d'une politique de libre-échange, n'a pas explicitement proposé le recours à l'entreprise publique pour favoriser l'aide gouvernementale aux industries canadiennes de technologie de pointe. Toutefois, d'autres sont prêts à recourir aux sociétés d'État qui, selon eux, constitueraient les principaux leviers dont disposerait le Canada pour développer des industries à la pointe de la technologie.

Dans un mémoire présenté au Groupe de travail Wright au nom de la société de recherche de l'Énergie atomique du Canada, Limitée, J. A. L. Robertson (1984) a affirmé que la réussite de l'EACL, comme instrument de progrès technologique, peut se mesurer en fonction des objectifs atteints. Après avoir affirmé que la technologie CANDU avait une des meilleures fiches au monde aux chapitres du rendement, de l'économie de son fonctionnement et de l'économie des ressources, M. Robertson a soutenu que, sur le plan conceptuel, l'apport sans doute le plus important de l'EACL à l'examen actuel de la politique est d'avoir montré que le Canada a la capacité de fournir des produits de qualité mondialement reconnue dans des domaines de technologie de pointe. Il a ajouté que, dans cette optique, l'EACL avait joué un rôle comparable à celui des organismes responsables des satellites de communications canadiens, de Telidon, du système télémanipulateur (CANADARM) et des avions à décollage et à atterrissage courts (ADAC) [Robertson, p. 2].

M. Robertson a conclu que le gouvernement du Canada avait recours à plusieurs programmes d'expansion industrielle visant à favoriser le progrès technologique, par exemple, le PPMID, le PEE, le PARI et le PPIL, mais que l'établissement de sociétés d'État à cette fin était aussi un moyen qui a fait ses preuves (p. 14). Les observations optimistes de M. Robertson ne peuvent être écartées parce qu'elles semblent être seulement une justification intéressée de l'EACL. D'autres ont tout aussi inconditionnellement attribué au système CANDU les points de mérite qui le classent dans la catégorie des projets réussis dans le domaine de la technologie de pointe.

Évaluation de la réussite de la technologie CANDU

Bruce Doern et Gordon Sims qualifient la technologie CANDU de l'un des rares succès internationaux remportés par le Canada (Doern, 1980, p. 49). En 1978, James Gardner et Fred Belaire (EMR, 1978) ont affirmé que l'efficacité technique et la praticabilité économique du réacteur CANDU ont été démontrées sans aucun doute (p. 134).

Le Conseil des sciences du Canada (1979) appuie depuis un certain temps déjà l'avancement de la technologie (nucléaire) de production d'énergie. Le Canada doit continuer de jouer un rôle de premier plan dans la R-D nécessaire au perfectionnement de la technologie CANDU pour au moins les deux ou trois prochaines décennies, puisque la plupart des autres pays s'intéressent à d'autres filières nucléaires. La viabilité technique, écologique et économique de la filière nucléaire CANDU alimentée à l'uranium naturel a été prouvée par 20 années d'expérience dans l'exploitation de réacteurs (p. 46).

Après un examen approfondi de la politique nucléaire, le ministère de l'Énergie, des mines et des ressources a conclu que :

> étant donné les *avantages économiques évidents* du CANDU lorsqu'il s'agit de produire de l'électricité aux fins de la croissance de la demande nationale (surtout à l'est du Manitoba), [. . .] des commandes de réacteurs seront passées au Canada vers la fin des années 80 et que certains devront entrer en exploitation au cours des années 90. Par ailleurs, certains marchés d'exportation de réacteurs s'avèrent prometteurs et [. . .] il semble exister d'intéressantes possibilités en ce qui a trait à la construction de réacteurs nucléaires au Canada qui serviront à exporter de l'électricité sur les marchés des États-Unis. (EMR, 1981*b*, p. 3.)

D'après Johnson (voir McFetridge, 1985), le coût net d'exploitation de la filière nucléaire CANDU est beaucoup moins élevé que celui d'un réacteur à eau légère. D'après ses calculs fondés sur la capacité actuelle seulement, l'exploitation de la filière CANDU permet de réaliser des économies supérieures aux coûts de R–D du CANDU. Richard Zuker et Glenn Jenkins (1984) ont comparé ce qu'il en coûterait pour produire plus d'électricité au Québec et en Ontario au moyen de centrales hydro-électriques ou de centrales alimentées au charbon, au coût de production des centrales nucléaires. Ils n'ont pas fait de distinction entre la filière CANDU et les autres technologies nucléaires, mais il ne fait aucun doute que Zuker et Jenkins se sont fondés sur la filière CANDU dans leur étude de la technologie nucléaire. Ils ont donc implicitement conclu que la filière CANDU était un moyen plus économique de produire de l'électricité, du moins par rapport aux centrales thermiques alimentées au charbon.

Hydro-Québec, une entreprise de services publics qui n'a jamais manifesté beaucoup d'enthousiasme à l'égard de l'énergie nucléaire, utilise comme point de comparaison une centrale nucléaire de type CANDU d'une capacité de 850 MW, alimentée à l'uranium naturel et refroidie à l'eau lourde, pour évaluer la faisabilité économique du potentiel hydro-électrique du Québec (1980, p. 75). En 1980, l'Hydro-Québec a estimé que le CANDU, et nulle autre filière ni le charbon, est le meilleur moyen autre que les centrales hydro-électriques de produire de l'électricité, lorsque les bons sites d'exploitation hydro-électrique deviennent plus rares.

Hydro-Ontario a beaucoup investi dans les réacteurs CANDU et elle est satisfaite des résultats obtenus. En 1982, Sligl a résumé comme suit les conclusions d'Hydro-Ontario.

1 Le coût total actualisé de la production d'électricité par une centrale nucléaire, bien que plus élevé au début, est inférieur à celui d'une centrale thermique au charbon après deux ou trois années d'exploitation.

2 Dans le cas des centrales thermiques, le coût du charbon est la principale composante du coût d'exploitation total durant la vie utile, tandis que, dans le cas d'une centrale nucléaire, les coûts en capital sont les dépenses les plus importantes.

3 Le coût unitaire total de l'électricité produite par une centrale nucléaire est moins élevé que le coût du combustible nécessaire au fonctionnement d'une centrale thermique.

4 Le seuil de rentabilité est atteint lorsque l'écart entre le facteur d'utilisation prévu d'une centrale nucléaire et celui d'une centrale thermique à charbon est de 5 % sur la durée utile de la centrale.

5 D'importants écarts entre les différentes composantes des coûts doivent être enregistrés avant qu'il ne soit plus avantageux de recourir à une centrale nucléaire pour produire de l'électricité.

6 Le coût unitaire total de l'énergie produite reste relativement constant au cours de la durée de vie d'une centrale nucléaire, tandis qu'il croît de façon considérable dans le cas d'une centrale thermique alimentée au charbon à cause de la progression des coûts du combustible (Sligl, 1982, p. 20).

Le président d'Hydro-Ontario, Milan Nastich, a signalé que la société continue de construire des centrales nucléaires pour remplacer les centrales à combustible fossile de plus en plus coûteuses qui servent encore à répondre à une part de la demande d'électricité de base. Quand le programme de construction actuel sera complété, a-t-il ajouté, l'approvisionnement de base en électricité dans la province sera assuré uniquement par des centrales nucléaires et hydro-électriques. À son avis, la technologie CANDU est une réussite indéniable parce que la plupart des entreprises américaines de services publics pourraient acheter de l'Ontario l'électricité produite par des centrales nucléaires à un coût inférieur à celui de produire la même énergie par elles-mêmes, à l'aide de *tout* autre combustible à leur disposition, même l'uranium (Nastich, 1981, pp. 33-36). Nastich a conclu que le programme de production de l'électricité par des centrales nucléaires de l'Ontario est un exemple de bonne planification et de perspicacité que d'autres feraient bien d'imiter.

Études de cas ou analyse théorique de la politique gouvernementale ?

L'auteur de cette étude a longuement cité ces diverses sources parce qu'il est important de bien jauger l'opinion

de ceux qui accordent à la filière CANDU une note non seulement acceptable, mais excellente également. Il n'est donc pas étonnant que l'on cite fréquemment le projet CANDU pour donner un exemple d'efficacité politique. Évidemment, le simple fait de constater la réussite de l'EACL n'est pas une raison suffisante de conclure que la société d'État est le mode d'organisation qui convienne le mieux au développement d'industries canadiennes capables de soutenir la concurrence internationale dans les secteurs de technologie de pointe. Il n'y a pas lieu de rejeter la propriété publique en se fondant simplement sur l'échec d'une seule entreprise publique ni de justifier la propriété publique en invoquant un cas unique de succès. Le choix du mode d'organisation qui convient ne peut reposer uniquement sur des études de cas. Heureusement, les études théoriques permettent de définir beaucoup plus clairement le rapport entre propriété et structure d'entreprise d'une part, et le rendement de l'entreprise d'autre part. Ces études ont récemment été dépouillées d'abord par Borcherding (Prichard, ed., 1983) et ensuite par McFetridge (1985) dans l'optique particulière de la société d'État. Hirshhorn (1984) a vérifié les résultats d'études sur la structure de l'entreprise dans la perspective des entreprises publiques. Baldwin (1984) a analysé les conditions dans lesquelles l'entreprise publique surpasse la réglementation comme moyen de mettre en application la politique gouvernementale. Malheureusement, les études théoriques n'ont pas encore atteint le point où il est possible d'en dégager une règle générale. Ces études ne sont donc pas suffisamment probantes pour convaincre les analystes de politiques d'adopter un plan d'action plutôt qu'un autre. Ou encore, une fois que l'objectif de la politique est établi, les études théoriques ne permettent pas à l'analyste de déterminer le mécanisme le plus efficace. Borcherding signale que la théorie des approvisionnements publics est appliquée dans des cas si nombreux qu'il est difficile, à l'heure actuelle, d'en tirer des conclusions utiles (Prichard, ed., 1983, p. 176).

Puisque les conclusions encore timides des études théoriques portant sur les modes d'organisation ne permettent pas encore d'opérer un choix définitif entre les différents moyens d'appliquer la politique gouvernementale, chaque étude de cas supplémentaire d'une société d'État devient une importante source d'information pour les théoriciens. Borcherding soutient que la théorie des approvisionnements publics doit permettre de bien distinguer les activités de l'État qui produisent une richesse nette de celles qui la transfèrent. Ces dernières activités ont tendance à être très coûteuses, même si elles semblent un moyen efficace d'atteindre les objectifs politiques. Borcherding est d'avis que, tant que cette distinction ne sera pas bien comprise, le rôle convenable de la société d'État continuera d'être défini en fonction d'arguments fortement idéologiques plutôt qu'en fonction de principes directeurs logiques et vérifiables (Prichard, ed., 1983, p. 176).

Outre les études théoriques de l'organisation que Borcherding a examinées dans la perspective de la politique d'offre publique, il existe de nombreuses analyses qui établissent des liens entre la stratégie et la structure de l'entreprise. Certains auteurs partisans de la théorie de la stratégie de l'entreprise, dont Roderick White, ont examiné les points forts et les points faibles de l'EACL et d'autres sociétés d'État canadiennes. Les études effectuées dans cette perspective se fondent sur des comparaisons pour évaluer le rendement de l'entreprise. La méthode consiste à comparer l'activité, le rendement et l'organisation d'une entreprise à une norme reflétant l'optimalité. Pour établir cette norme d'optimalité, il faut déterminer les caractéristiques et les aspects de politique et d'organisation qui coïncident le plus avec la réussite.

Dans cette perspective, il est naturel d'évaluer le rendement de l'EACL à la lumière des normes de gestion que le secteur privé considère comme synonymes d'excellence. C'est à ce genre de questions que s'adresse la présente étude.

Bref, certains estiment qu'une étude de cas de ce genre joue un double rôle. En l'absence d'un principe général qui puisse orienter les débats sur la politique publique, un auteur doit garder à l'esprit que son étude servira à justifier certaines de ces politiques. Plus l'étude d'une réussite ou d'un échec indéniable est concluante, plus elle est susceptible de servir de justification. Puisque tous les groupes d'intérêt chercheront à trouver des cas qui justifient leur point de vue, il faut recourir à un mécanisme de confrontation pour faire l'arbitrage des études de cas. Le second rôle d'une étude de cas est de fournir plus d'information aux théoriciens, dans l'espoir qu'on pourra dégager un cadre unique qui convienne à la fois aux débats sur la politique publique et à son analyse. Toutefois, même en faisant un grand effort d'imagination, l'étude de cas ne peut être considérée comme un exposé neutre des faits historiques. L'auteur d'une étude de cas doit donc, pour le bénéfice de ses lecteurs, expliciter, avec un maximum de précision, deux points majeurs : sa propre interprétation de la théorie sous-jacente et sa propre tendance idéologique. Dans la section suivante, l'auteur de cette étude présente les idées qui sont siennes et les compare à celles d'autres auteurs.

3 Le choix entre l'entreprise publique et l'entreprise privée

Le fardeau de la preuve

Dans la présente partie, nous exposerons les raisons qui nous incitent à penser que, dans l'évaluation du rendement d'une société d'État sur le plan de la prestation de services commerciaux et politiques, il incombe aux partisans de cette forme d'organisation d'en démontrer le bien-fondé. Dans l'étude de chaque cas, il faudrait supposer que l'entreprise privée remporte la palme de l'efficacité. Le partisan du mode d'organisation de la société d'État doit bien énoncer les objectifs politiques, comparer les divers instruments de politique sous l'angle de l'efficacité et prévoir la perte en efficacité commerciale que l'on doit accepter en échange de la prestation de services politiques définis.

Cette affirmation fort sérieuse repose sur la conviction qu'il y a peu de structures qui soient accessibles à l'entreprise publique sans qu'elles ne le soient à l'entreprise privée. Par conséquent, si l'efficacité est déterminée par la capacité de l'entreprise à maximiser sa valeur, l'entreprise privée sera une organisation tout aussi efficace que la société d'État. Certains analystes de la politique générale du gouvernement admettent que la société d'État peut être un modèle d'organisation efficace quand le gouvernement fournit à la fois un service politique et un service commercial. En préférant une entreprise commerciale à tout autre type d'instrument politique pour assurer un service politique, le gouvernement peut parvenir à abaisser le coût du service (Trebilcock et coll., 1982).

Les considérations théoriques

De l'avis de certains théoriciens, il n'est pas du tout valable de comparer l'entreprise publique et l'entreprise privée à cause des lacunes dans les mécanismes sociaux qui contribuent à l'efficacité de l'entreprise privée. Selon ce courant de pensée, il n'est pas question, dans les théories, du choix entre l'entreprise publique et l'entreprise privée. D'autres théoriciens plus modérés soutiennent que, effectivement, les coûts seraient vraisemblablement plus élevés dans le secteur public, mais par une bien faible marge. À leurs yeux, le seul critère qui doit guider le choix entre l'une ou l'autre forme d'entreprise est l'avantage que procure le fait de confier l'offre de biens et de services publics et commerciaux à une seule organisation commerciale.

La séparation de la fonction de gestion et de la propriété

Les grandes organisations à vocation commerciale dans le secteur privé sont formées de nombreux groupes qui œuvrent tant à l'intérieur qu'à l'extérieur de l'organisation. Il s'agit des actionnaires, des cadres supérieurs, des clients et des fournisseurs, des créanciers, des employés ainsi que des collectivités dans lesquelles baigne l'entreprise. Tous ces groupes sont liés les uns aux autres par l'obtention du rendement, qu'il soit implicite ou explicite. Parmi les innombrables relations contractuelles qui unissent les groupes à l'intérieur et à l'extérieur de l'entreprise, la relation entre les propriétaires et les cadres supérieurs a certainement retenu beaucoup l'attention. Ce rapport est fondé sur une relation de mandataire. Le propriétaire est le mandant; le cadre, son mandataire. Il peut très bien arriver que les intérêts personnels des cadres professionnels ne concordent pas avec ceux des propriétaires. Alchian et Demsetz (1972) ont souligné que les cadres peuvent recourir à maints expédients pour se dérober aux devoirs qu'ils ont envers les actionnaires, expédients que les propriétaires auront peut-être beaucoup de difficulté à reconnaître et à corriger. Il y a bon nombre d'années, plusieurs auteurs, dont Berle et Means (1982), ont illustré ce conflit au moyen de graphiques.

Selon la deuxième école de pensée décrite, la propriété publique ou la réglementation étaient les moyens tout indiqués pour remédier aux conséquences de la séparation de la propriété et de la fonction de gestion. Par opposition, les premiers théoriciens estimaient que l'intervention de l'État n'atténuait en rien le problème causé par la relation de mandataire, lequel pouvait très bien s'aggraver sous la mainmise de l'État. Les coûts de la relation de mandataire sont imputables à deux caractéristiques fondamentales de l'organisation sociale que l'on retrouve à l'intérieur et à l'extérieur du gouvernement : une pensée rationnelle anémique et l'opportunisme.

Par « pensée rationnelle anémique », nous entendons la capacité limitée des êtres humains à obtenir, à interpréter et à retenir l'information; il s'ensuit que les personnes, y compris celles qui travaillent dans la même organisation, ne disposent pas de renseignements uniformes. L'expression « opportunisme » qualifie un large éventail de comportements, comme ceux qui consistent à dénaturer l'information, à déformer des ententes antérieures, à afficher une mauvaise foi évidente et à mal interpréter en toute honnêteté les événements et les ententes. Les parties désireuses de conclure des marchés qui seront exécutés plus tard doivent tenir compte des coûts supplémentaires qu'occasionnent ces deux caractéristiques. Il est fondamentalement difficile d'établir un marché qui devra être exécuté dans l'avenir, en tout état de cause. De toute évidence, le processus est particulièrement coûteux quand les cocontractants cachent des renseignements spécialisés ou dénaturent les renseignements qu'ils décident de communiquer. Il s'agit là d'une manifestation préalable d'opportunisme parce qu'elle a pour but d'influencer le marché lui-même. L'opportunisme peut également se pratiquer après la conclusion d'un marché; un tel comportement augmente alors les coûts de la surveillance et de l'exécution des marchés tant que ces derniers sont valides. Étant donné que la pensée rationnelle anémique et l'opportunisme sont des traits endémiques de la race humaine, l'intervention du gouvernement peut inciter davantage, plutôt que décourager, les participants à cacher et à dénaturer l'information. Par exemple, pour Michael Jensen et William Meckling, la structure de direction de l'entreprise moderne constitue une réponse aux coûts imputables à la relation de « mandataire » qui existe entre les propriétaires et les cadres (sous la direction de Jensen et Smith, Jr., ed., 1984, pp. 78-133). La structure de l'entreprise s'adapte de façon à réduire ces coûts. Ce faisant, l'entreprise n'éliminera pas entièrement les coûts de la relation de mandataire, mais une certaine souplesse dans la passation de contrats sur le marché financier, sur le marché des cadres ainsi que dans la structure de propriété de l'entreprise, permettra de les abaisser progressivement.

La question de la relation de « mandataire » n'est qu'un des nombreux aspects de la passation de contrats qui entraînent des frais de transaction pendant la coordination des activités de l'entreprise. Elle a cependant une importance capitale parce qu'on estime que les cadres supérieurs sont en mesure de restreindre les frais occasionnés par les transactions internes. En effet, ceux-ci ont accès à l'information et ils ont le pouvoir de diriger l'exécution de contrats dans l'entreprise à des coûts raisonnables en recourant à des mécanismes bureaucratiques. L'efficacité des rapports hiérarchiques employeur-employé variera selon la situation. Néanmoins, de nombreuses méthodes perfectionnées, comme la description de poste, l'évaluation de l'emploi et l'évaluation du rendement, ont été appliquées. Les cadres supérieurs conservent généralement le droit de réaffecter les employés si les circonstances l'exigent. Ils jouissent d'une très grande latitude, surtout quand la propriété de l'entreprise est répartie entre plusieurs personnes, pour déterminer les stratégies d'investissement et de désinvestissement de l'entreprise et pour changer la réputation de l'entreprise quant aux risques qu'elle présente. Par conséquent, le pouvoir d'agir est entre les mains des personnes mêmes qui ont accès à des renseignements détaillés dont ne peuvent disposer facilement les actionnaires. Il est impossible d'affirmer que les systèmes bureaucratiques de contrôle sont tout à fait efficaces sans simplifier à l'extrême; il reste que ces systèmes sont raisonnablement efficaces quand on les compare aux manifestations possibles d'opportunisme qui entachent les relations contractuelles entre les actionnaires et les cadres supérieurs.

D'après la simple analyse que nous venons de faire, il ressort clairement que, si l'entreprise vise à maximiser le rendement économique à long terme des actionnaires (ce qui équivaut à hausser à son maximum la valeur de l'entreprise), la formule de la société d'État présente peu d'avantages, s'il en est, par rapport à celle de l'entreprise privée. L'entreprise privée peut adopter toute technique bureaucratique applicable dans l'entreprise publique. Elle peut également trouver des capitaux sur le marché financier, qui est organisé de telle façon que les créanciers et les propriétaires de l'entreprise sont en mesure de se constituer un portefeuille diversifié; par conséquent, les risques ne sont guère moindres quand on oblige les contribuables à être propriétaires de l'entreprise publique.

Dans le secteur privé, la structure de propriété fera l'objet de pressions distinctes qui s'opposent. D'une part, les actionnaires et les créanciers essaieront de diminuer les risques qu'ils courent en diversifiant leurs intérêts dans un grand nombre d'entreprises; d'autre part, un portefeuille trop diversifié entraîne des coûts et l'investisseur peut être exploité par les cadres. Ces derniers voudront faire savoir eux-mêmes aux investisseurs éventuels qu'ils sont dignes de confiance. Ils seront alors en mesure de réduire leur part du coût du capital recueilli sur le marché. Cependant, il peut être coûteux de transmettre un tel message et difficile de s'imposer comme une personne digne de foi. En termes simples, le cadre peut difficilement donner sa personne en caution dans de telles circonstances. Pour cette raison, les cadres ou, ce qui est plus exact, les équipes de cadres, peuvent juger plus rentable de faire face aux conséquences de la propriété restreinte et d'avoir la mainmise sur

l'entreprise qu'ils gèrent. C'est également pourquoi il existe, dans le monde, des sociétés à peu d'actionnaires et d'autres sociétés à grand nombre d'actionnaires.

Nous nous attendons à une diffusion de la propriété dans les entreprises où il est facile de surveiller, à peu de frais, le rendement des gestionnaires. Dans ces conditions, les propriétaires et les cadres n'ont guère intérêt à maintenir la concentration de la propriété. Cependant, quand la surveillance du rendement des cadres entraîne des frais élevés, la présence d'un grand nombre d'actionnaires peut faciliter l'apparition de parasites. En effet, tous les propriétaires retireraient certains avantages de la surveillance des cadres, mais chaque actionnaire peut compter sur quelqu'un d'autre pour remplir cette fonction. Étant donné que le rassemblement et le contrôle de l'information, ainsi que la surveillance des cadres représentent en grande partie un coût fixe, le coût unitaire de ces activités qui revient au propriétaire d'une part importante de l'entreprise est moindre. Par conséquent, le choix de la société à peu d'actionnaires peut être motivé par la difficulté d'évaluer le rendement des cadres.

Quatre mécanismes de l'organisation sociale qui modifient les coûts de la relation de mandataire

D'autres mécanismes inhérents à l'organisation sociale influent sur le coût de la relation de mandataire de l'entreprise privée. Ces mécanismes comprennent le marché des cadres, le marché des produits, le marché des prises de contrôle et le marché financier. Le marché des cadres est l'arène dans laquelle les cadres se font une chaude lutte pour obtenir une rémunération plus élevée, de l'avancement, un pouvoir accru et la possibilité de constituer un capital humain négociable. Quand le marché des produits est concurrentiel et que la capacité de rendement de l'entreprise est affaiblie, le marché expulse rapidement les entreprises inefficaces en les acculant à la faillite. Le marché des prises de contrôle est l'arène dans laquelle des équipes de cadres, qui gèrent souvent d'autres entreprises, s'arrachent la mainmise d'une organisation en achetant un nombre suffisant d'actions avec droit de vote de l'entreprise qu'ils estiment être en mesure de mieux gérer. Enfin, le marché financier constitue une porte de sortie pour les investisseurs et les créanciers qui se départissent de leurs avoirs, manifestant ainsi leur mécontentement à l'égard du rendement et des perspectives d'avenir de l'entreprise. Si une telle situation se produit, l'entreprise fait face à une hausse du coût de son capital, hausse qui réduit les perspectives d'investissement des cadres et les rend vulnérables à une tentative d'absorption par les cadres d'une entreprise qui jouit d'un coût du capital moins élevé.

Les secteurs public et privé se partagent le marché des cadres. Cependant, dans le secteur public, les cadres sont incapables de participer au capital-actions de l'entreprise. En outre, les lignes directrices relatives à la rémunération dans le secteur public, prescrites par un modèle de bureaucratie applicable dans des organisations non commerciales, ont toujours été un critère limitatif dans les contrats passés avec des cadres. On pense que le marché des produits impose une même discipline aux entreprises tant privées que publiques; cependant, dans ce cas, les différences relatives à la rapidité avec laquelle agit la contrainte et son efficacité seront fonction de diverses caractéristiques du marché. Dans le secteur public, le marché des prises de contrôle est négligeable et le rôle du marché financier à titre de contrainte extérieure est passablement atténué. Le gouvernement détermine le coût du capital et il est impossible de faire connaître le mécontentement de l'investisseur à l'égard du marché boursier. Les pressions politiques qui sont exercées en faveur de la « privatisation » des sociétés d'État peuvent prendre la relève, quoique bien faiblement, du marché des prises de contrôle du secteur privé, mais, dans le secteur public, il arrive souvent que l'on conserve les entreprises en difficulté et que l'on vende les entreprises solides. Néanmoins, on peut imaginer que la perspective d'une privatisation puisse inciter les cadres à tendre vers l'excellence, étant donné que les cadres d'une entreprise privée peuvent s'attendre à recevoir une récompense beaucoup plus intéressante que celle qu'obtiennent les gestionnaires d'une entreprise publique.

Les contraintes d'ordre politique

Les entreprises du secteur public sont également dominées par un marché politique. Les hommes politiques influencent l'orientation de ce marché et restreignent la liberté d'action des cadres qui y travaillent; ils sont sensibles à l'emprise d'une « voix » sur le marché de la politique. Nous présenterons dans l'étude de cas menée dans les chapitres ultérieurs les faits qui témoignent de l'efficacité de mécanismes utilisés pour réduire les coûts de la relation de mandataire que doit supporter l'EACL. Dans la conclusion du présent chapitre, les preuves sont réunies et évaluées par rapport aux principes établis dans les ouvrages théoriques. Les parties des ouvrages théoriques qui s'appliquent à l'EACL sont rapidement passées en revue; pour un examen plus complet des ouvrages généraux, le lecteur est invité à consulter Borcherding dans Prichard, ed. (1983), McFetridge (1985), Hirshhorn (1984), Jensen et Smith, Jr., ed. (1984) et enfin, Jensen et Zimmerman, ed. (1985).

Il est difficile de surveiller le rendement des cadres dans le marché des produits qui échoit à l'EACL. Par définition, il est difficile de gérer les activités de recherche, comme l'a fait remarquer Jauch (1983). Mais l'évaluation de la performance de l'EACL n'est pas une tâche ardue simplement parce qu'il s'agit d'une entreprise vouée à la recherche. Il existe une raison plus fondamentale : l'importance des ventes, avec profit, de réacteurs nucléaires par l'EACL, malgré la concurrence d'autres entreprises, est le seul critère d'évaluation à long terme de la performance de l'EACL. Beaucoup de temps peut s'écouler entre la mise en marche d'un tel projet et le moment où une évaluation définitive du rendement peut être faite sans risque d'erreur. Les étapes entre la conception et l'achèvement d'un produit comprennent, entre autres : la recherche, la démonstration, la vente, la construction et l'acquisition d'une expérience pratique. Même des décennies plus tard, il est presque impossible de séparer la prise de décisions efficaces à priori et l'efficacité à posteriori. La réussite ou l'échec sont inévitablement liés aux variations imprévues du prix de sources d'énergie de rechange, à l'évolution de la technologie et à des variables hors de notre sphère d'influence comme les taux d'intérêt et d'inflation.

En raison de la nature même de l'industrie de la construction de réacteurs nucléaires, il est particulièrement difficile, encore aujourd'hui, 33 ans après la constitution en société de l'EACL, de se prononcer sur sa performance dans un sens ou dans l'autre. Mais l'incertitude qui plane encore aujourd'hui sur les réalisations à posteriori de l'EACL ne doit pas nous empêcher d'évaluer la forme d'organisation choisie par le gouvernement. Les personnes qui sont chargées aujourd'hui d'évaluer la performance de l'EACL se heurtent aux mêmes difficultés que celles auxquelles eurent à faire face pendant toute la durée du projet les hommes politiques derrière l'EACL.

L'évaluation du rendement des cadres dans des marchés de produits complexes

Plus le marché dans lequel évolue l'entreprise est complexe, plus il est difficile d'évaluer la performance de cette entreprise et, de façon encore plus marquée, d'établir un lien entre cette performance et le comportement des cadres. Quand, dans le meilleur des cas, on peut dresser à long terme un constat de réussite ou d'échec, il est alors possible d'expliquer presque tous les moindres reculs passagers en faisant preuve d'un peu d'ingénuité. Le fossé qui sépare les cadres et les propriétaires sur le plan de l'accès à l'information est à l'avantage des premiers et laisse le champ libre à toutes les formes possibles de comportements opportunistes et égoïstes. Dans des marchés de ce genre, il n'est pas du tout certain que le marché des cadres exercera une influence à la baisse sur les coûts de la relation de mandataire dans les entreprises privées. Peut-on conclure qu'à cet égard, l'entreprise publique est tout aussi efficace que l'entreprise privée ? C'est l'avis de Wintrobe (1984). Selon lui, les hommes politiques ont autant, sinon plus, intérêt que les multiples actionnaires d'une entreprise privée à éliminer au moins le gaspillage. En termes simples, Wintrobe soutient que, par cette action, les hommes politiques libèrent des ressources qu'ils utilisent ensuite pour fournir des services politiques dont ils peuvent eux-mêmes tirer profit en marquant des points sur la scène politique. Il prétend que le marché politique n'a rien à envier au marché privé en sa capacité à restreindre les coûts de la relation de mandataire. Cette position prête à controverse. Le marché politique est aux prises avec un double problème relativement à la relation de mandataire, en ce que les hommes politiques et les cadres peuvent faire preuve d'opportunisme au détriment des véritables propriétaires, c'est-à-dire les contribuables et les consommateurs du service commercial fourni. Puisque les hommes politiques sont au pouvoir pendant relativement une période courte, ils peuvent en toute liberté agir de façon à recevoir immédiatement des récompenses sur la scène politique et de faire porter le poids de leur opportunisme par des générations futures d'hommes politiques. De toute évidence, quand on ne pourra savoir, sauf à long terme, si l'entreprise prospérera ou fera faillite, les occasions ne manqueront pas aux hommes politiques de profiter pleinement des avantages au moment même où ils se présentent et pour transférer les conséquences sur le plan politique aux générations futures.

Wintrobe nous gagne à sa théorie seulement si, à cause de la nature même du marché des produits, les mécanismes bureaucratiques de contrôle sont efficaces. Pour cette raison, certains auteurs, comme Borins et Boothman (1984), font ressortir les qualités du marché des produits quand ils évaluent dans quelle mesure le système politique peut régir efficacement le rendement des cadres œuvrant dans les entreprises publiques. L'argument invoqué est en fait très simple : les cadres qui évoluent dans un marché concurrentiel ne seront pas en mesure de disposer d'un excédent de ressources qui pourrait être utilisé soit pour des fins politiques, soit pour des avantages accessoires ou des éléments inefficaces reliés à la gestion. Borcherding a abondé dans ce sens quand il a affirmé que les sociétés d'État exercent leurs activités autant en fonction du marché que du milieu politique et que, sous les pressions exercées par leurs concurrents, leur comportement diffère

souvent peu de celui des entreprises privées du même secteur (Prichard, ed., 1983, p. 131).

Par ailleurs, on peut arriver aux mêmes fins en affirmant plutôt que le contrôle politique peut être un mécanisme efficace quand le rendement d'une entreprise se prête facilement à la surveillance soit par la vérification des prix, des bilans et des états des résultats soit, tout au moins, par les évaluations de la productivité et les coûts. Quand des manifestations préalables d'opportunisme et d'incompétence ont seulement des effets négatifs limités avant que les propriétaires ne soient mis au courant de la situation par les résultats de l'analyse *ex post*, presque toute forme d'organisation peut, de toute évidence, solutionner le problème soulevé par la relation de mandataire. Éliminer ce problème revient à supprimer la nécessité de comparer deux formes d'organisation entre elles.

L'esprit de gestion et l'esprit d'entreprise

Nous venons de montrer pourquoi il est important d'établir une distinction entre les industries animées par un esprit de gestion et les industries animées par un esprit d'entreprise. Les industries axées sur la gestion sont des industries pleinement développées et les parts qu'occupent sur le marché les entreprises qui en font partie sont relativement stables. Le processus de développement du produit ou du service est déjà bien enclenché. Les cadres des entreprises œuvrant sur de tels marchés sont habituellement préoccupés par le processus. Dans leurs travaux, Miles et Snow (1978) ont qualifié de « défenseurs » les cadres des entreprises faisant partie des industries de gestion; ces cadres mettent beaucoup l'accent sur le contrôle par étapes des coûts d'exploitation. La culture de l'entreprise veillera avant toute chose à surveiller attentivement les coûts et à satisfaire les besoins d'une clientèle traditionnelle. Les fonctions de contrôle et de surveillance sont automatiquement, en grande partie, une caractéristique accessoire de ces marchés. Même les observateurs qui jettent un regard superficiel sur une entreprise se rendent très vite compte de sa réussite ou de son échec.

Une industrie animée par un esprit d'entreprise est fondée, dit-on, sur la faculté de perception, le jugement et l'à-propos plutôt que sur le nombre d'heures de travail. D'après cette définition, les industries à haute technologie jouent sur l'esprit d'entreprise (McFetridge, 1984, p. 22). Les organisations désireuses de se tailler une place dans un marché composé d'industries d'entreprise doivent adopter une attitude de prospection. L'expérimentation, la souplesse, une capacité d'adaptation, le goût du spectaculaire, la volonté de se lancer à fond ou de se retirer, voilà quelques exemples de comportement que Miles et Snow (1978) attribuent aux « prospecteurs ». Les prospecteurs trompent la vigilance de leurs rivaux et dominent rapidement un marché. Les ouvrages sur les stratégies de l'entreprise fourmillent de récits sur des entreprises qui ont montré qu'elles possédaient, ou ne possédaient pas, les talents de prospecteur nécessaires pour transformer le marché. Tel est l'objet de la planification de l'organisation, qui fait coïncider la structure et la culture de l'entreprise avec le milieu dans lequel cette dernière évolue.

La faculté du marché des cadres de réduire et de surveiller les coûts propres à la relation de mandataire est nettement fonction du type de marché des produits dans lequel l'entreprise exerce ses activités, c'est-à-dire un marché composé d'industries animées par un esprit de gestion ou par un esprit d'entreprise. Par conséquent, sauf quand cela facilite la présentation de l'analyse, c'est une erreur d'établir ainsi des catégories. Les cadres du secteur public sont également privilégiés par rapport à leurs homologues du secteur privé en ce qu'ils peuvent être en mesure de modifier les caractéristiques du marché des produits sur lequel ils interviennent en se servant des fonds publics. Baldwin (1984) et Weaver (1984) soutiennent tous deux que les gestionnaires des sociétés d'État peuvent appliquer des stratégies en vue de se faire du capital politique et qu'ils le font effectivement. Des observations semblables sont souvent faites à propos des fonctionnaires. Ainsi, de par leur position, les cadres du secteur public peuvent utiliser des ressources pour constituer des groupes de pression efficaces, indépendamment du fait qu'ils aident de cette façon leurs présumés mentors politiques à atteindre leurs objectifs politiques. Les pressions qu'ils exercent en vue d'être protégés d'une certaine façon contre leurs concurrents pour pouvoir ensuite offrir des services politiques aux groupes qu'ils ont eux-mêmes courtisés peuvent atteindre leur but et ce, parfois au détriment des orientations politiques que peuvent privilégier les hommes politiques au pouvoir. Dans de telles circonstances, les occasions de gaspillage dans la prestation de services politiques et commerciaux semblent innombrables. De même, les cadres d'entreprises privées peuvent rechercher le rendement économique afin de créer une situation qui permettra de maintenir les revenus à un niveau qui satisfait leurs actionnaires tout en leur procurant des revenus supérieurs au taux du marché. Le gaspillage qui découle d'un tel comportement a attiré beaucoup l'attention dans d'autres pays (Kreuger, 1974). Au Canada, il faut se demander si la recherche du rendement économique avantage d'une façon quelconque les sociétés d'État de telle sorte qu'elles sont encouragées à s'y adonner plus activement que les sociétés privées.

En conclusion, nous affirmons que la taille du marché des produits influe de façon décisive sur les coûts de la relation de mandataire dans différentes formes d'organisation des entreprises. Les classifications des industries sont nécessairement simplistes et assez flexibles. La crise de l'énergie et la pénétration du marché par les Japonais, qui ont bouleversé la répartition du marché en insufflant un certain dynamisme dans ce dernier, ont transformé la nature même de l'industrie de l'automobile, qui était auparavant axée sur les techniques de gestion. Mais même si les démarcations entre les types d'industries sont assez floues, personne ne contesterait le fait que, aujourd'hui, l'industrie de la micro-informatique est animée par un esprit d'entreprise, contrairement à l'industrie du transport ferroviaire.

Dans une industrie qui joue sur l'esprit d'entreprise, l'absence d'une entreprise dominante ou d'un groupe d'entreprises bien établies favorise l'entrée sur le marché de nouveaux arrivants et d'entreprises implantées dans des industries connexes. Dès qu'une entreprise occupe une part importante du marché, elle commence à bénéficier d'avantages qui amènent une révolution dans l'industrie à mesure que celle-ci se développe. Les entreprises qui accaparent une plus grande part du marché sont en mesure de réduire leurs coûts du fait des économies d'échelle réalisées et de l'expérience acquise. Fait encore plus important, les entreprises qui connaissent le succès dès leur lancement s'attirent habituellement la confiance des consommateurs, ce qui peut leur permettre d'exiger un prix plus élevé sans perdre de clients. On juge que ce facteur est particulièrement décisif quand le produit offert en vente est un bien durable de consommation ou un bien d'équipement. Dans ces cas, les acheteurs se laisseront influencer par la valeur éventuelle de revente du bien acheté et par la facilité avec laquelle ils peuvent se procurer des pièces de rechange, avoir du service et bénéficier d'améliorations futures. Les acheteurs de biens d'équipement faisant appel à une technologie de pointe choisiront le vendeur qui, à leur avis, consentira vraisemblablement à les aider en cas d'imprévus, tout comme le fabricant qui, selon eux, restera en affaires et dont le produit ne tombera pas en désuétude.

L'esprit d'entreprise et l'industrie nucléaire

L'industrie nucléaire présente bon nombre des caractéristiques d'une industrie type animée par un esprit d'entreprise. Les services publics qui achètent un réacteur nucléaire demandent qu'on leur garantisse que le vendeur restera en affaires pendant les 40 années qui constituent la durée de fonctionnement prévue du réacteur. Ils souhaitent avoir un interlocuteur si les performances du système s'avèrent ne pas être conformes aux normes. De plus, si la décision de leur directeur est contestée un jour, ils veulent être en mesure de faire valoir que d'autres directeurs ont commis des erreurs semblables.

Par conséquent, le sentiment de confiance que procure un producteur dans un marché d'entrepreneurs est fonction de la taille de son entreprise. Les acheteurs sont prêts à payer plus cher pour faire affaire avec des entreprises qui, à leurs yeux, ont de plus grandes chances de survie. Les partisans de l'intervention de l'État dans les industries axées sur l'esprit d'entreprise comprennent bien ces considérations. En effet, certains estiment que l'atout de l'entreprise publique dans la partie que jouent les industries d'entreprise est sa présumée résistance. Bon nombre d'observateurs soutiennent que n'importe quelle entreprise privée canadienne ne pourrait vraisemblablement pas espérer occuper une place sur le marché international des réacteurs nucléaires sans que le gouvernement ne lui fournisse de solides garanties contre toute faillite éventuelle; mais de tels engagements n'ont de valeur que s'ils semblent plausibles aux acheteurs éventuels. Les acheteurs comparent la garantie donnée par les vendeurs canadiens aux assurances semblables que fournissent les vendeurs français, allemands et américains, qui bénéficient tous d'un appui exceptionnel de l'État.

Les cadres des sociétés d'État qui sont chargés de commercialiser de nouvelles technologies dans des industries animées par un esprit d'entreprise saisissent bien ces questions. Ils connaissent l'importance de l'appui de l'État et ils s'offusquent de toute critique formulée à l'endroit d'un aspect du programme qui puisse paraître aux yeux des acheteurs éventuels comme de la volonté vacillante. Ainsi, les cadres ressemblent quelquefois à Lyndon Johnson, qui croyait que la guerre au Vietnam aurait pu être gagnée, n'eût été des détracteurs de la politique américaine aux États-Unis qui ont laissé croire à l'ennemi que l'Amérique ne tiendrait pas le coup. Aussi irritante que puisse paraître ce genre de critique malveillante, il y a plus qu'une parcelle de vérité dans les allégations selon lesquelles les acheteurs éventuels perdent confiance quand ils sont mis au courant des désaccords et des chamailleries internes qu'occasionne un programme, et ce, peut-être à une étape critique de la mise au point de nouveaux produits. Par conséquent, ce qui pour certains auteurs (par exemple, Roderick White, 1984) semble justifier à première vue, l'intervention de l'État dans les industries d'entreprise devient en fait son tendon d'Achille. Dans notre société, l'entreprise publique doit être très transparente et peu de personnes souhaiteraient qu'il en soit autrement.

Les entreprises du secteur privé éprouvent également de la difficulté à convaincre les consommateurs de leur bonne foi. Le journal *The Globe and Mail* a publié un article selon lequel la société Westinghouse se disait confiante dans la survie du marché nucléaire et prévoyait une relance de la production d'énergie nucléaire (le 9 octobre 1984). L'entreprise faisait part de son intention d'accaparer une partie considérable du marché au cours des prochaines années. Afin d'être prête à saisir les occasions qui s'offriront à elle, la société Westinghouse s'associe à une entreprise japonaise pour réaliser, au coût de 150 millions de dollars, un projet ayant pour but d'améliorer la conception de ses réacteurs à eau légère. Westinghouse se lance dans cette entreprise, malgré le fait qu'aucune nouvelle commande n'a été faite aux États-Unis depuis huit ans et que de nombreuses commandes de réacteurs ont été annulées même quand les travaux étaient presque terminés.

Le marché des fusions

Les actions des entreprises publiques qui appartiennent entièrement au gouvernement ne sont pas transférables. La lutte que mènent les cadres pour être nommés aux postes de gestionnaires des sociétés d'État est transposée sur la scène politique ou prend la forme d'une rivalité entre agences. Comme les actions ne peuvent être cédées, le milieu financier ne peut surveiller d'aussi près le comportement de la société d'État. Dans le secteur privé, les analystes financiers s'exposent à des pertes ou à des gains importants en surveillant les activités des sociétés ouvertes. Dans le secteur public, ce sont les ministères, dans lesquels personne ne tire profit directement d'une analyse astucieuse, qui jouent le rôle du marché financier. Non seulement l'analyste en poste au gouvernement n'est-il pas motivé, mais il doit se fonder sur les renseignements que lui donnent les cadres de la société d'État. On ne peut également évaluer le jugement de l'analyste qui est fonctionnaire en le comparant à l'opinion de l'ensemble des investisseurs qui est exprimée par la valeur marchande de l'action.

Les marchés financiers internes

Dans le secteur privé, il arrive souvent que le marché financier interne soit aussi important que le marché externe. Les équipes de cadres comme celles qui gèrent la société Générale Électrique du Canada (GEC) sont évaluées par les actionnaires, et pas seulement pour leurs qualités de gestionnaires. Dans l'entreprise qui comporte de multiples divisions, des cadres supérieurs assurent la bonne marche d'un marché financier interne et surveillent le rendement des chefs des divisions de l'exploitation. Le succès de ce type d'entreprise est fonction de la capacité d'un marché financier interne à réduire à la fois le coût des transactions et le coût de la relation de mandataire. De cette façon, les actionnaires délèguent la fonction de surveillance à un petit groupe de cadres supérieurs qu'ils tiennent pour responsables du rendement général de l'entreprise.

Roderick White (1984) soutient que le gouvernement a peine à faire fonctionner efficacement un marché financier interne. Dans une étude commentant la décision rendue à l'égard des aéronefs Dash 8, White a accusé le gouvernement d'avoir été incapable de gérer une entreprise commerciale lui appartenant en exclusivité. White a comparé le gouvernement au siège social d'une entreprise et la société d'État au service des opérations stratégiques au niveau des divisions. L'entreprise privée a recours à de nombreuses méthodes pour intégrer les objectifs des divisions et ceux du siège social. Pour ce faire, il faut notamment essayer d'adapter la structure de l'entreprise à sa stratégie et à son milieu.

White a souligné que les pendants gouvernementaux des conseils d'administration sont censés accomplir cette intégration. Le gouvernement nomme des sous-ministres clés membres de ces conseils afin d'assurer que les sociétés d'État connaissent les politiques du gouvernement et que ce dernier soit au courant de leurs intentions. L'application de cette démarche dans les sociétés d'État canadiennes faisant partie des industries d'entreprise semble avoir donné des résultats médiocres. White a proposé de confier cette fonction d'intégration aux sociétés de portefeuille, comme la Corporation de développement du Canada (CDC). On ignore au juste pourquoi une telle ligne de conduite devrait découler des principes d'organisation. On suppose que White estimait que la CDC montrerait plus de réticence à donner son appui à un projet que ne le feraient les bureaucrates dans les ministères et les organismes centraux. Les membres du Cabinet hésiteront davantage de s'engager à mettre en œuvre un programme, étant donné que le CDC est un organisme bien en vue.

White a principalement critiqué la décision prise en matière de financement. Dans l'affaire du Dash 8, il affirme que le gouvernement a subi un échec; il nous semble plutôt qu'il punit le gouvernement pour avoir agi comme doit le faire un gouvernement. Par la force des choses, les gouvernements doivent poursuivre des objectifs multiples, qui changent constamment; ils ne peuvent assurer la bonne marche d'un marché financier interne et se laisser guider par un seul objectif commercial prédominant. Voilà pourquoi les gouvernements attendent le

plus souvent jusqu'au dernier moment pour refuser un projet; ils reportent les décisions finales. Dans l'intervalle, les groupes intéressés s'efforcent de convaincre les responsables dans le gouvernement d'adhérer plutôt à leur projet. Ce phénomène tient à la nature même d'un gouvernement démocratique; les ministères auront probablement autant de clients et de composantes qu'il existe de groupes organisés. En poussant l'analyse encore plus loin, on s'aperçoit que, comme le temps du premier ministre et des membres du Cabinet est la denrée la plus rare du gouvernement, les fonctionnaires supérieurs peuvent participer au processus d'intégration uniquement par le truchement de mandataires.

Avant d'élaborer une stratégie, une entreprise doit s'engager de façon claire et ferme à poursuivre un but général sur une longue période. La stratégie doit être énoncée par un nombre restreint de cadres supérieurs qui ont le dernier mot dans les décisions importantes. De cette façon, la notion de « l'intégration » est progressivement introduite dans les plans des divisions au moment où le cadre hiérarchique assimile la culture de l'entreprise. Il y a peu d'espoir que cette formule puisse être appliquée dans le secteur public; on ne peut imaginer de façon précise comment les sociétés d'État pourraient idéalement devenir des divisions du gouvernement. Ce faisant, nous ferions porter la responsabilité de la formulation de la stratégie commerciale par des éléments extérieurs à l'industrie. C'est exactement sur cet aspect que portent les critiques adressées à l'endroit des conglomérats privés. Cependant, même dans les conglomérats privés qui affichent le rendement le plus médiocre, les postes de décision clés ne sont pas attribués à des cadres « à temps partiel », aux traitements relativement modestes, peu intéressés à la réussite de l'entreprise et qui ont la charge de nombreux autres projets prioritaires.

Il ne faut pas chercher à découvrir les facteurs qui empêchent les entreprises publiques de croître et de prospérer en tripotant le cloisonnement des organisations. Il peut s'avérer utile de modifier l'organisation, mais cette démarche laisse intact le problème principal, c'est-à-dire la primauté du jeu politique sur la responsabilité financière et l'esprit d'entreprise. Par exemple, le référendum qui s'est tenu au Québec et la répugnance du gouvernement à annoncer une réduction importante de l'assistance du fédéral, de même qu'une diminution de l'emploi au Québec, ont certainement joué un rôle dans la décision annoncée au sujet de Canadair. Un lien existerait également entre la décision concernant le Dash 8 et celle qui a été prise au sujet de Canadair, étant donné que le gouvernement ne pouvait aller de l'avant dans le dossier Canadair et annuler le projet plus alléchant du Dash 8 sans courir le risque de susciter une vague d'opposition en Ontario.

Le récent désengagement de la Banque Commerciale du Canada illustre également la primauté des impressions sur la scène politique sur les réalités économiques. Du point de vue de la rentabilité, il aurait fallu liquider la banque et cesser de la soutenir financièrement dès que sa situation précaire eut été connue. N'importe quel organisme de réglementation en cause aurait très vite compris qu'il était presque impossible que les affaires de la banque reprennent parce que les financiers astucieux récupéreraient leurs fonds dès l'annonce du retrait du gouvernement; cependant, sur le plan politique, il était inconcevable que le gouvernement fasse montre d'indifférence au sort d'une banque régionale. Le gouvernement provincial, entre autres groupes, se serait alors frotté les mains. Ne valait-il pas mieux, et de beaucoup, de faire en apparence tous les efforts possibles pour maintenir la banque à flot et d'abandonner ensuite la partie seulement quand il était devenu évident que l'établissement financier ne pouvait être sauvé uniquement par l'injection de fonds ? On aura sûrement pensé que les fonctionnaires s'étaient montrés très avisés dans leurs manœuvres politiques en ne mettant pas dans l'embarras leurs supérieurs sur la scène politique et, dans la mesure du possible, en adoucissant le procédé; certains auraient même cru qu'ils étaient en train de sauver la banque. Bien que cette situation ne se soit pas produite dans le monde des industries animées par un esprit d'entreprise, elle n'en illustre pas moins ce qu'il en coûte de faire passer la politique avant tout, en toutes circonstances. Les distinctions entre les activités politiques et les fonctions d'un État, comme la réglementation des banques, ne sont pas aisées à faire. Les directeurs de la Banque du Canada qui font preuve de trop d'indépendance à l'égard des hommes politiques ne restent pas longtemps en poste au Canada et la fonction d'inspecteur général des banques, qui figure dans le répertoire des postes de la fonction publique, est actuellement remplie par un fonctionnaire de carrière.

L'intégration d'organisations animées par un esprit d'entreprise dans un appareil gouvernemental imposant est simplement vouée à l'échec selon toute probabilité. Cet échec peut s'expliquer notamment par le fait que le gouvernement n'est pas une organisation monolithique imposante composée de personnes qui poursuivent tous ensemble un but commun bien articulé. Il ressemble davantage à une pieuvre dont les bras bougent sans coordination, souvent dans des directions contraires et pour des motifs contradictoires. Le monstre avance tant bien que mal dans une direction ou dans une autre. Dans l'esprit de C. D. Howe, une société d'État devait être

nettement distincte du gouvernement de façon à être à l'abri des pressions quotidiennes de la vie politique qui sont tous les jours le lot des fonctionnaires du gouvernement. Cependant, son modèle ne donnera peut-être pas les résultats escomptés. Si la société d'État a besoin de fonds publics, elle sera aussi tributaire des décisions prises par les hommes politiques qu'un simple service gouvernemental. Il paraît peu probable que les sociétés d'État deviennent des concurrents efficaces dans des industries animées par un esprit d'entreprise en remaniant simplement leur échelle hiérarchique ou les méthodes qu'elles utilisent pour dresser un budget.

Le gouvernement ne peut jouer indéfiniment le rôle de banquier et ce phénomène transparaît davantage dans le cas du projet CANDU que dans celui du projet concernant les Dash 8. En effet, le projet CANDU s'étend sur une période tellement longue que les gouvernements qui se sont succédés au pouvoir ont progressivement eu les mains liées.

L'efficacité du jeu politique

Examinons maintenant le dernier facteur qui influe sur l'organisation et, de là, sur la performance de l'entreprise publique par rapport à celle de l'entreprise privée. Il s'agit du degré d'efficacité avec lequel le milieu politique amène les hommes politiques et les fonctionnaires à tenir compte des préférences du public. Cette question est traitée dans une longue liste de publications à grande diffusion, mais un seul de ses aspects semble être d'une utilité quelconque dans une analyse de l'industrie des réacteurs nucléaires : l'attirance extraordinaire qu'exerce le prestige sur les hommes politiques. Le temps infini qu'il faut pour mettre au point un réacteur nucléaire ajoute une nouvelle dimension à cette question du prestige. Allison (1971) a fait observer que l'une des principales raisons qui poussaient les hommes politiques à agir était la possibilité de jouir d'un certain prestige à l'échelle du pays et que le prestige était souvent proportionnel aux coûts irrécupérables. Comme il a occasionné des « coûts irrécupérables » énormes et qu'il a permis d'effectuer des percées en matière de haute technologie, le programme CANDU est auréolé d'un prestige que les hommes politiques ne refuseraient qu'à leurs risques et périls. En France, l'application de la technologie américaine des réacteurs à eau légère a entraîné une perte de prestige qui a été compensée par des investissements considérables dans la recherche orientée vers la construction d'un réacteur surrégénérateur rapide (voir Bupp, 1980; Bugler, 1977*a*; Collingridge, 1984*a*; DeLeon, 1976 et 1980; Fagnani et Moatti, 1984). Si l'on tient compte du fait que bon nombre de personnes doutent de la rentabilité du réacteur surrégénérateur rapide français, il faudrait peut-être imputer les coûts que la mise au point de ce dernier occasionne au programme de fabrication de réacteurs à eau légère, puisqu'ils représentent en fait le prix politique que la France doit payer pour adopter la technologie américaine. Le Royaume-Uni n'a pas encore réussi à sortir du dilemme de la domination du prestige sur le commerce (Collingridge, 1984*b*; Burn, 1978; Cook, 1969), mais les résultats de l'enquête Sizewell (Pearce, 1982*a* et *b*) l'inciteront probablement, à l'instar de la France et du Japon, à préférer la technologie américaine.

À peu près tout le monde s'entend pour dire que les considérations « politiques » influent sur le marché de l'énergie nucléaire. Les tendances habituelles au « protectionnisme » auront un effet sur le choix des activités qui s'offrira au Canada à un entrepreneur audacieux dans le domaine de l'énergie nucléaire. À cause de l'engagement du milieu politique, on peut raisonnablement prédire que l'on devra faire face à une surcapacité dans le monde et à une réduction des marges bénéficiaires. Les investisseurs privés peuvent pénétrer ces marchés de prestige seulement s'ils peuvent compter dans leur pays sur une certaine forme de protection ou sur des subventions pour effectuer des ventes à l'étranger. Cette situation n'est pas unique à l'industrie des réacteurs nucléaires; en effet, les entrepreneurs dans les secteurs de l'acier, des pétroliers et des produits pétrochimiques ont également fait face aux mêmes problèmes.

La perspective politique est utile à de nombreux points de vue, mais tel n'est pas l'objet de la présente étude. Nous ne mettons pas en doute les efforts qui ont été déployés dans la réalisation du projet CANDU afin de rehausser le prestige du Canada. Nous nous penchons sur l'utilisation de l'EACL pour mettre au point la technologie CANDU. À l'inverse, on pourrait simplement supposer que le financement accordé à la recherche et au développement dans des industries privées aurait pu servir d'exutoire à l'élan nationaliste au Canada. C'est la voie qu'ont empruntée les États-Unis et l'Allemagne, tandis que le Canada, le Royaume-Uni et la France ont préféré un mode d'intervention plus direct.

Nous avons étudié les facteurs susceptibles d'atténuer les coûts élevés qu'occasionne autrement une société d'État. Peu d'arguments semblent être valables dans le cas particulier de la mise au point des réacteurs nucléaires. On peut difficilement surveiller les cadres d'une entreprise de R-D qui fait partie d'une industrie animée par un esprit d'entreprise, surtout lorsqu'il s'agit d'assurer que les salaires des cadres sont conformes aux lignes directrices du

gouvernement et que ceux-ci ne peuvent participer au capital-actions. La durée particulièrement longue du processus de mise au point est une source de risques supplémentaires. Les hommes politiques peuvent transférer aux générations futures d'hommes politiques les conséquences de nature politique des avantages dont ils jouissent sur le moment. Comme il n'existe pas de marché sur lequel on peut transiger les actions de la société, il n'existe pas non plus de marché dans lequel les équipes de cadres se font concurrence; en outre, l'évaluation des perspectives de l'entreprise est effectuée par des employés de l'entreprise et n'est pas vérifiée par les évaluations d'organismes indépendants. Cependant, le gouvernement n'est pas à même de combler cette lacune en mettant en place un marché financier interne qui soit efficace. La possibilité de se faire du capital politique est tellement liée à la fierté que suscite la mise au point d'une technologie de pointe que les hommes politiques sont à la merci de la société d'État.

Bref, peu de caractéristiques de la société d'État justifient son choix, sauf peut-être les économies qui résultent de la combinaison d'un objectif politique et d'un objectif commercial. Nous aborderons cette question dans la partie suivante.

Les considérations politiques

Par la poursuite de quels objectifs politiques l'entreprise publique pourrait-elle contrebalancer son inefficacité relative dans la réalisation de ses objectifs commerciaux ?

La comparaison entre l'intervention du secteur public et l'intervention du secteur privé dans les programmes de mise au point de réacteurs nucléaires à l'étranger

Pour établir cette comparaison, examinons pourquoi, dans certains pays, l'État n'a pas confié le développement de l'industrie nucléaire à une entreprise publique. Les gouvernements des États-Unis, de l'Allemagne et du Japon ont consenti à ce que des sociétés privées prennent en main le programme de nucléarisation. Ils ont subventionné proportionnellement les activités de recherche et de développement autant, sinon plus, que ne l'a fait le gouvernement du Canada. Ainsi, existe-t-il effectivement d'autres organes chargés de mettre en œuvre la politique de l'État à des fins similaires sinon identiques. Point n'est besoin, par conséquent, de simplement énumérer les objectifs d'intérêt public pour conclure à l'efficacité d'un instrument comme la société d'État dans la réalisation de ces objectifs. Avant qu'une société d'État puisse à bon droit s'attribuer le potentiel d'un instrument d'intervention efficace, il faudra d'abord qu'elle démontre son efficacité à produire conjointement des services publics et commerciaux.

Jusqu'à une époque récente, de nombreux auteurs se sont fondés sur la réussite apparente des programmes mis en œuvre aux États-Unis et en Allemagne pour prendre position en faveur du recours à l'entreprise privée. S'appuyant sur des comparaisons semblables à l'échelle internationale, Burn (1978) a repris exactement cette argumentation. Comparant les résultats des programmes de nucléarisation de la Grande-Bretagne et des États-Unis, il a attribué l'échec du programme de la Grande-Bretagne aux lacunes de l'entreprise publique. Et pourtant, il y a peu de temps, les partisans de l'énergie nucléaire ont pu souligner le succès qu'a apparemment obtenu la France dans l'application de son programme de nucléarisation. Tout dernièrement, on a imputé au programme français le nombre démesurément élevé de fabricants de réacteurs nucléaires et la surcapacité encore plus exagérée des centrales nucléaires sur son territoire (Collingridge, 1984*a* et *b*). Cependant, même avant les difficultés qui ont marqué dernièrement la réalisation du programme français de nucléarisation, seules les personnes uniquement préoccupées par le programme des réacteurs à eau légère auraient pu considérer ce programme comme une réussite. Compte tenu des sommes considérables englouties par les Français dans d'autres programmes nucléaires, les résultats globaux ne sont guère impressionnants. De toute évidence, les comparaisons simples entre les industries de fabrication de réacteurs nucléaires dans différents pays jettent peu de lumière sur la question présentement à l'étude.

On pourrait cerner les raisons qui poussent un gouvernement à opter pour une entreprise publique en examinant les motifs qui ont incité certains pays à confier le développement de leur industrie nucléaire à une entreprise publique, et d'autres, à une ou plusieurs sociétés privées. En France, en Grande-Bretagne et au Canada, la plupart des sociétés d'électricité relevaient déjà du secteur public. Aux États-Unis et en Allemagne, les sociétés privées et publiques se partageaient le marché. Cette coexistence peut être l'effet du hasard ou simplement le reflet de quelques prises de position antérieures à l'égard de la taille idéale du service public. Cependant, elle peut également traduire le fait que le service public préfère traiter avec un seul fournisseur parce que les interventions du milieu politique ont plus de prise sur lui que sur un monopole privé qui reçoit de l'État d'importantes subventions. Il semble que ce facteur ait été au nombre

de ceux qui ont influencé Hydro-Ontario à une époque cruciale de la mise en valeur de l'industrie canadienne.

La transformation du programme nucléaire du Canada en un projet du secteur public

Au Canada, les liens entre l'Énergie atomique du Canada, Limitée et Hydro-Ontario remontent à 1952, année de la fondation de l'EACL. Comme, des deux entreprises, Hydro-Ontario était celle qui était en meilleure position pour négocier, il ne faut pas s'étonner que l'industrie nucléaire canadienne relève du secteur public. De ce point de vue, l'industrie nucléaire est simplement un prolongement de Hydro-Ontario et, pour déterminer les origines de son alliance avec le secteur public, nous devons examiner d'abord pourquoi Hydro-Ontario fait partie du secteur public et pourquoi cette société a usé de son influence pour promouvoir l'entreprise publique de préférence à l'entreprise privée. On a beaucoup fait état de la première question dans d'autres ouvrages. Récemment, Baldwin (1984) a présenté une nouvelle interprétation des faits et a expliqué la domination de certaines industries par les sociétés d'État au moyen d'une nouvelle théorie plutôt audacieuse. Selon lui, les entreprises qui engagent des capitaux considérables dans des biens immobiliers ne pouvant servir à d'autres fins peuvent prêter flac à l'opportunisme des hommes politiques. À court terme, ces derniers peuvent céder aux pressions des consommateurs et leur imposer des tarifs réduits tout en maintenant les mêmes services. C'est dans cet esprit que l'on a décrété la réglementation des loyers, même si l'on sait fort bien que, à long terme, la réglementation des loyers réduit le parc de logements et contraint l'État à fournir des logements sociaux. Il n'en demeure pas moins que, malgré sa grande inefficacité, le mécanisme retenu est peut-être le meilleur moyen qu'ont à leur disposition les hommes politiques pour répondre aux demandes des associations de locataires favorables au contrôle des loyers. Baldwin montre que, aux États-Unis, les organismes de surveillance chargés de la tarification des services publics ont été obligés, pour des raisons d'ordre constitutionnel, de fixer des taux qui permettraient un rendement raisonnable. Au Canada, la loi n'offrait pas de protection semblable contre l'expropriation de biens privés, mesure qui s'impose lorsque les prix maximums sont tellement bas que les revenus de l'entreprise ne lui permettent même pas de récupérer son coût en capital. Dès que les investisseurs privés se retirent, découragés par les faibles rendements, une entreprise publique prend le service en charge. Dans cette optique, l'entreprise publique, écrit Baldwin, peut être un mécanisme social qui, en se développant, a fait contrepoids à l'opportunisme des hommes politiques. Il est ironique de constater que la sensibilité aux réactions politiques des autorités chargées de réglementer la tarification est l'un des irritants de l'industrie nucléaire aux États-Unis. Ces autorités interprètent la réglementation de telle façon que l'assiette des tarifs ne tient aucunement compte des nouvelles centrales nucléaires, particulièrement celles qui ne seront pas terminées et, par conséquent, exploitées. Les entreprises ont beaucoup de peine à trouver des sources de financement pour ces projets parce qu'il est plus que douteux que les autorités chargées de réglementer la tarification autoriseront des majorations de tarifs de 50, 60 ou 70 %. Les formules courantes de calcul des taux de rendement ont pour résultat des majorations aussi importantes quand la valeur comptable d'une centrale nucléaire, qui comprend le coût du capital accumulé durant la construction, est ajoutée à l'assiette des tarifs (Cook, 1985).

Même si la thèse de Baldwin apporte une explication intéressante à la domination des marchés de l'électricité au Canada par des entreprises publiques, elle n'éclaire pas de façon satisfaisante l'émergence de l'EACL. Songeons seulement aux multiples exemples de manifestations à posteriori d'opportunisme, devant lesquelles une entreprise privée aurait abandonné l'idée de se lancer au Canada dans un projet quelconque, du moins tant que le gouvernement n'aurait pas jeté les bases d'une politique de financement des activités de recherche et de développement dans le secteur privé. Sans l'appui du gouvernement, l'entreprise privée aurait été contrainte de concurrencer les fabricants étrangers de réacteurs nucléaires qui, eux, bénéficient de subventions de l'État. Même une garantie quelconque du gouvernement fédéral lui assurant la mainmise sur le marché canadien ne constituerait pas un stimulant suffisant. Sachant que les entreprises de services publics de la province sont les seuls clients, une société privée aurait tout lieu de craindre que le milieu politique, par opportunisme, l'oblige à abaisser son prix au niveau de celui du concurrent étranger. En outre, l'entreprise privée pourrait craindre que le gouvernement cesse de la protéger contre la concurrence des producteurs étrangers ou que le gouvernement provincial l'exproprie en lui offrant la valeur comptable. Quel que soit le dénouement envisagé, la crainte d'être victime de l'opportunisme du milieu politique rend nettement insuffisante la récompense reçue en contrepartie de certains risques. En cas d'échec, l'investisseur perd tout, malgré la subvention de l'État. Si les activités de recherche et de développement sont couronnées de succès, il est peu probable que l'investisseur obtienne les rendements élevés qui accompagneraient habituellement un projet aussi risqué que celui-ci.

Le scénario que nous venons d'exposer montre pourquoi une entreprise privée pourrait hésiter à investir des sommes importantes dans la mise au point de réacteurs nucléaires dans un marché national restreint où il n'existe qu'une poignée d'acheteurs éventuels, surtout si ces acheteurs appartiennent au secteur public. Cependant, l'évolution de l'industrie nucléaire au Canada ne semble pas être conforme au modèle de l'opportunisme. En effet, le gouvernement a plutôt déployé beaucoup d'énergie pour décourager les entreprises privées à s'implanter dans ce secteur. Deux raisons semblent être à l'origine de cette attitude. Premièrement, les deux sociétés canadiennes qui étaient en mesure d'entreprendre les travaux de recherche et d'ingénierie au début du programme étaient des filiales d'entreprises américaines. Les sociétés mères, General Electric et Westinghouse, étaient toutes deux en train de mettre au point d'autres technologies nucléaires qui faisaient concurrence à la technologie employée au Canada. Deuxièmement, la société Hydro-Ontario a suivi la ligne de conduite qu'elle avait adoptée longtemps auparavant, qui consistait à diversifier ses sources d'approvisionnement.

L'influence du nationalisme au Canada

Cela n'est pas toujours un élan de nationalisme qui a amené le gouvernement à repousser les filiales canadiennes d'entreprises étrangères. En 1954, le contrat de la construction du réacteur NPD a été adjugé à GEC (voir la liste des réacteurs canadiens au tableau 3-1). Sims (1979) signale que GEC disposait d'un atout de taille : la participation de sa société mère au programme nucléaire américain. Cette attitude n'a pas fait long feu. En 1954, on n'avait pas encore commencé à exploiter commercialement la technologie des réacteurs nucléaires. Les autorités canadiennes ont sans doute cru qu'une association avec des entreprises américaines était un moyen d'avoir accès, à peu de frais, à la technologie étrangère. Cependant, à peine cinq ans plus tard, à l'époque de la conception du réacteur de Douglas Point, l'EACL a vraisemblablement eu l'impression qu'elle faisait concurrence avec General Electric et Westinghouse pour la commercialisation de ses réacteurs.

Certes, les décideurs ont été animés de sentiments nationalistes à maintes reprises au moment où il aurait été possible de maintenir ou d'accroître la participation du secteur privé au programme nucléaire. Toutefois, si le gouvernement du Canada pensait faire une chaude lutte aux concurrents étrangers afin de s'approprier des ventes rentables sur les marchés étrangers, on peut difficilement lui reprocher de ne pas avoir voulu prendre le risque de partager sa technologie avec la filiale d'un concurrent. Une grave question se pose alors : en agissant ainsi, le gouvernement du Canada était-il guidé uniquement par l'appât du gain ou avait-il d'autres aspirations ?

Tableau 3-1

Le programme national de production nucléaire d'électricité du Canada

	Capacité (en MW[e])	Commande		Mise en exploitation (réelle ou prévue)
Réacteur ou contrôle :				
NPD	22	1955		1962
Douglas Point	200	1959		1966
Pickering A 1, 2	4 x 515	1964		1971
3, 4		1967		1972-1973
Bruce A	4 x 746	1969		1977-1979
Gentilly II	637	1973		1982
Pointe-Lepreau	630	1974		1982
Pickering B	4 x 516	1974		1983-1984
Bruce B	4 x 756	1975		1983-1987
Darlington	4 x 881	1978	à l'origine	1984-1987
			maintenant	1988-1990
Total (3-9)	14 923			
Total (3-8)	11 400			

SOURCE Canada, ministère de l'Énergie, des mines et des ressources (1982), p. 5.

La définition du mandat de l'EACL : avait-on l'intention de faire de l'EACL un laboratoire de recherche gouvernemental ou une entreprise commerciale ?

Comme cela arrive si souvent, les motifs de la conduite de tous les intervenants dans l'industrie nucléaire au lendemain de la création de l'EACL étaient complexes. Sims (1979) et Eggleston (1965) se sont penchés sur les débuts de l'EACL. Le récit qui suit est principalement fondé sur ces sources de seconde main. D'après ces ouvrages et à partir de quelques entrevues réalisées avec certains pionniers dans le domaine, on peut conclure sans risquer d'erreur que, aux yeux de nombreux chercheurs bien établis, l'accès continu aux établissements de recherche et aux travaux de recherche passe par la commercialisation.

Avant la création de l'EACL, la Division des produits commerciaux de Eldorado Mining and Refining Limited, une société d'État, s'occupait du traitement du radium et des produits du radium. Cette division a été incorporée à l'EACL en 1952. Selon Eggleston, on avait admis dès le début que, comme le marché canadien des isotopes serait limité, il faudrait créer un marché d'exportation et fabriquer les produits en grande quantité pour abaisser les coûts et offrir un service de première classe aux utilisateurs canadiens (p. 274).

Sims a signalé que, dès 1947, au moment de l'entrée en service du réacteur NRX, M. MacKenzie, qui devait plus tard devenir le premier président de l'EACL, s'inquiétait de la grande taille du complexe de Chalk River, qui devait être uniquement utilisé pour la recherche dans le domaine nucléaire, et affirmait que l'exploitation commerciale d'un nouveau réacteur chargé essentiellement de produire du plutonium constituerait un motif solide pour la survie de Chalk River (p. 40).

Les préoccupations financières ont pris encore plus d'ampleur quand on a estimé que la durée utile d'un réacteur ne dépasserait peut-être pas cinq ans. En 1944, le coût de la mise au point du réacteur NRX a été évalué à 10 millions de dollars. Ce réacteur est entré en activité trois années plus tard, soit en 1947, et son coût a probablement dépassé le montant figurant dans le budget. Au stade où il en était, à l'époque, le milieu scientifique a prévu qu'il faudrait continuellement engager des sommes importantes pour mettre des réacteurs nucléaires à la disposition des chercheurs.

En 1950, on donna le feu vert au projet du réacteur NRU après avoir passé avec le gouvernement des États-Unis un contrat d'approvisionnement en plutonium. Rien d'étonnant aux propos de Sims lorsqu'il a signalé que le gouvernement avait acquis la certitude de voir un jour l'EACL devenir autonome grâce aux ventes de radioisotopes, et principalement de plutonium. Cet espoir s'est évanoui en 1962 quand les États-Unis n'ont pas reconduit le contrat d'approvisionnement en plutonium.

L'importance croissante que prenaient les activités commerciales de l'EACL a été l'un des principaux facteurs à l'origine de sa constitution, en 1952, en société d'État, distincte du CNR. Cependant, au départ, l'EACL n'avait pas pour mandat de produire de l'électricité, quoique cette possibilité était à l'étude. Le scientifique W. B. Lewis a mis la dernière main à une proposition concernant l'énergie atomique en août 1951. En 1953, C. D. Howe déclarait à la Chambre des communes que la production d'énergie électrique faisait partie des attributions des services chargés de la distribution de l'énergie électrique, c'est-à-dire d'organismes comme Hydro Electric Power Commission of Ontario (HEPCO – qui devait devenir plus tard Hydro-Ontario) ou des grandes sociétés privées s'occupant de produire de l'énergie électrique (Sims, 1979, p. 99).

Au moment de la création de l'EACL, le planificateur principal du Canada n'avait nullement l'idée d'implanter l'entreprise dans le secteur de la production d'énergie électrique. En 1954, on a constitué un groupe d'étude placé sous la direction d'un ingénieur de HEPCO et formé de représentants des entreprises suivantes : B. C. Electric, Shawinigan Water and Power Co., Manitoba Hydro, Canadian Brazilian Services, Montreal Engineering et Babcock & Wilcox. (J'ai appris au cours d'une entrevue réalisée avec un cadre supérieur de GEC que cette société avait également fait partie du groupe d'étude, mais Sims n'en a pas fait mention.) L'EACL a déclaré que les entreprises contractantes seraient responsables de la conception, de la construction et du rendement des machines (cité par Sims, 1979, p. 10). Une fois les plans terminés, l'appel d'offres a été lancé et le contrat a été adjugé à GEC.

En 1956, le gouvernement a évalué ses dépenses pour les cinq années suivantes aux montants suivants : 36, 30, 20, 13 et 15 millions de dollars, respectivement; l'EACL a dépensé en réalité 3, 25, 29, 31 et 38 millions de dollars, respectivement (Sims, 1979, p. 106). De toute évidence, cette année-là, le gouvernement ne réalisait pas qu'il était sur le point de contracter un engagement financier important, même s'il était conscient du risque assez élevé que présentaient ces investissements. W. J. Bennett déclarait en 1956 qu'au moment où il parlait, personne ne pouvait affirmer quel type de réacteur

nucléaire serait le plus rentable (Sims, 1979, p. 112). Ce n'est qu'après 1959 que le gouvernement s'est engagé à mettre en jeu des sommes considérables dans l'espoir de rentabiliser sa mise. Jusqu'alors, il avait espéré que les coûts des expériences scientifiques resteraient modérés et avait tout misé sur les revenus et le prestige que pouvaient rapporter de telles dépenses. En 1960, il n'était pas certain que le projet CANDU serait réalisé. Cependant, à ce moment-là, le gouvernement avait déjà englouti 81 millions de dollars dans le projet de mise au point du réacteur de Douglas Point. Hydro-Ontario devait acheter la centrale dès qu'elle serait entièrement prête pour l'exploitation; cependant, le gouvernement du Canada a financé le projet et en a assumé tous les risques.

Sims a énuméré les multiples motifs politiques en cause. Premièrement, la réaction à l'annulation du projet Avro Arrow par le Parti conservateur a fait prendre conscience au gouvernement dirigé par le Parti libéral du prix politique à payer pour toute annulation d'un projet scientifique. Deuxièmement, à cette époque, l'industrie d'extraction de l'uranium était plutôt concentrée dans la circonscription même du premier ministre, celle de Elliot Lake, et elle était sous le coup d'une menace des États-Unis de mettre l'embargo sur les importations d'uranium. Enfin, la société Hydro-Ontario avait un urgent besoin de nouvelles centrales et a manifesté un enthousiasme délirant pour la filière CANDU.

C. D. Howe n'était plus responsable du dossier. En 1957, il fut remplacé par Gordon Churchill au poste de ministre en charge de l'énergie atomique. Tout le monde sait que Howe était convaincu que les sociétés d'État devaient être, d'abord et avant tout, des entreprises commerciales. Le président de l'EACL de l'époque et lui s'accordaient à reconnaître que l'on devrait confier au secteur privé la mise en valeur de l'énergie nucléaire. Bennett était un chaud partisan de l'engagement du secteur privé dans le développement de l'énergie nucléaire (Sims, 1979, p. 14). La nomination de Lorne Gray en 1958 a changé la situation du tout au tout. Dès 1956, Gray avait affecté une vive hostilité à l'égard des sociétés canadiennes d'ingénierie en affirmant qu'aucun service d'exploitation dans les sociétés d'ingénierie au Canada n'était doté de personnel expérimenté (Sims, 1979, p. 115). Il attribuait cette faille à l'organisation en de multiples filiales qui caractérisait alors l'industrie canadienne. À l'époque, la société GEC était la cible de critiques pour la façon dont elle avait construit le réacteur expérimental NPD. Il était probablement hors de question à ce stade de confier les travaux à un entrepreneur privé parce que l'EACL avait déjà constitué une équipe de « design » chargée de mettre au point le réacteur de Douglas Point. Comme nous l'avons mentionné ci-dessus, Hydro-Ontario préférait que l'EACL produise le réacteur nucléaire et n'a sûrement pas opposé quelque résistance à Lorne Gray.

Dans l'élaboration de la stratégie à long terme, il n'a été nullement question de retirer à l'entreprise privée le mandat de construire la filière CANDU pour le confier à l'entreprise publique. Si, à cette époque, le gouvernement envisageait de vendre la filière CANDU à l'étranger et d'entrer ainsi en concurrence avec les États-Unis, la Grande-Bretagne, la France, et plus tard avec l'Allemagne et la Suède, il n'a rien laissé paraître de ses intentions. Il a mis en place une structure permettant de livrer un système conformément à un mandat (voir Sayles et Chandler, 1971). Point n'était besoin à l'EACL d'élaborer une stratégie de commercialisation si elle devait rester l'associée d'une société d'État relevant d'un gouvernement provincial qui se contenait de lui assurer la capacité de production dont elle avait besoin.

L'EACL s'est concentrée sur la réalisation de projets dans le pays. Elle a participé à la conception d'un réacteur mis au point en Inde, mais le contrat avait été passé entre les gouvernements et s'inscrivait dans le programme canadien d'aide à l'Inde. Évincée du marché intérieur, la société GEC s'est tournée vers le marché étranger, remportant un succès limité. En 1964, elle a vendu à un prix fixe un réacteur au Pakistan, réalisant ainsi un profit. Par la suite, son carnet de commandes est resté vierge. Lors d'une entrevue, le directeur du programme nucléaire de GEC à l'époque a déclaré que la société figurait au nombre des entreprises en liste pour vendre un réacteur CANDU en Argentine, mais que le gouvernement n'était pas disposé à garantir le financement des exportations pour deux projets réalisés simultanément. GEC a demandé l'autorisation d'offrir à l'Argentine et à la Finlande la garantie de financement des deux projets et de n'accepter que la première soumission.

On s'interroge encore sur les raisons qui ont amené le gouvernement à refuser l'entente proposée par GEC. L'EACL s'inquiétait-elle de l'arrivée d'un concurrent sur le marché national ? L'Argentine a accepté l'offre de la société Seimens pour la mise au point d'un réacteur à eau lourde principalement parce que celle-ci proposait des conditions financières plus favorables.

En 1964, l'année où le contrat au Pakistan lui fut adjugé, GEC se préparait à présenter une soumission pour

la conception et la construction à un prix fixe de la centrale de Pickering. Les sociétés Hydro-Ontario et EACL lui ont fait savoir très clairement qu'elles n'accepteraient jamais de soumission venant d'elle.

Puisque la présentation d'une soumission coûte plusieurs centaines de milliers de dollars, GEC s'est abstenue et cela a marqué pratiquement la fin de toute participation importante du secteur privé à la conception de réacteurs nucléaires. GEC s'est retirée de l'industrie en 1968, alors qu'elle était en mesure de concevoir, de commercialiser et de fabriquer intégralement des réacteurs nucléaires.

L'EACL a embauché de nombreux employés du service de commercialisation de GEC et a reçu l'autorisation du gouvernement de vendre à l'étranger des réacteurs nucléaires. L'engagement personnel de Lorne Gray, président de l'EACL, témoigne de l'importance de ce nouveau volet des activités de l'entreprise. Sims (1979, p. 133) a signalé que Gray s'était intéressé à tous les aspects du programme de commercialisation. Le marché de l'exportation faisait l'objet d'une concurrence féroce (voir la liste des ventes à l'étranger au tableau 3-2). Le vice-président de la Division de la commercialisation de l'EACL a fait remarquer que les soumissionnaires étaient presque aussi nombreux que les acheteurs (Sims, 1979, p. 135). Gray ne sous-estimait pas l'importance des ventes à l'étranger. Bien que, jusqu'en 1975, la demande intérieure paraissait assez élevée pour que les fabricants de réacteurs CANDU soient relativement occupés, Gray a reconnu que, si aucune commande ne provenait de l'extérieur, il faudrait certainement conclure que tout ne tournait pas rond à l'EACL. Le Canada, ajoutait-il, jouait sa réputation (Sims, 1979, p. 136). Plus tard, en 1977, il a admis s'être vraiment demandé ce qu'il adviendrait du programme nucléaire canadien si l'EACL ne vendait aucun réacteur (Sims, 1979, p. 136). Sims a fait grand cas des commentaires formulés par J. S. Foster en 1975. Foster, qui avait succédé à Gray à la tête de l'EACL, a affirmé que l'on n'avait cependant pas donné une image fidèle des activités fondamentales de l'EACL. Selon lui, le rôle principal de l'EACL devait être maintenu, c'est-à-dire que l'EACL devait continuer à mettre au point des méthodes d'application de l'énergie nucléaire dans l'intérêt croissant de l'humanité en général et des Canadiens en particulier. Il avait été nécessaire, déclarait-il, de se lancer dans des initiatives commerciales d'envergure comme la production d'eau lourde et l'exportation de centrales nucléaires afin d'assurer solidement les bases du programme canadien, mais ces activités n'étaient qu'*accessoires* (Sims, 1979, p. 259, passage souligné par l'auteur).

Tableau 3-2

Résumé des ventes à l'exportation, par pays

	Commande	Date en exploitation	Type
Inde	1956	1960	Type NRX Réacteur de recherche (CIRCUS)
Inde	1963	1972	200 MW(e) Réacteur de puissance (RAPP 1)
Pakistan	1964	1970	125 MW(e) Réacteur de puissance (KANUPP)
Inde	1967	1981	200 MW(e) Réacteur de puissance (RAPP 2)
Taiwan	1969	1971	Type NRX Réacteur de recherche
Argentine	1974		600 MW(e) Réacteur de puissance (CORDOBA)
Corée	1976		629 MW(e) Réacteur de puissance (WOLSUNG)
Roumanie	1979		629 MW(e) Réacteur de puissance (CERNAVODA-1)
	1981		(CERNAVODA-2)

SOURCE Canada, ministère de l'Énergie, des mines et des ressources (1982), p. 5.

D'après Sims, Foster reconnaissait ainsi que l'EACL était un organisme de recherche qui considérait les activités de commercialisation avec une certaine désinvolture. L'interprétation de Sims est peut-être exacte, mais il est également possible de déduire des déclarations de Foster

que l'EACL s'était rendue compte qu'elle n'avait pas réussi à remplir son mandat, et de trouver cette interprétation tout aussi convaincante. Acculée au pied du mur par un nombre infime de ventes de produits d'appel à l'étranger, frustrée par la non-reconnaissance du Royaume-Uni, du Japon et de l'Italie et embarrassée par le fiasco qu'avait été la production d'eau lourde, comment l'EACL n'aurait-elle pas cherché à trouver un certain réconfort dans l'idée que ces activités étaient secondaires ? Et même si l'EACL se percevait purement et simplement comme un organisme de recherche, est-ce bien le mandat que comptait lui donner le gouvernement ? Sims a reproché à l'EACL de n'avoir jamais pris assez au sérieux ses activités de commercialisation. On peut lire les mêmes données et les interpréter de la façon suivante : l'EACL a effectivement pris au sérieux ses activités de commercialisation, mais elle n'a simplement pas réussi à les mener à bien.

Le rôle grandissant de l'exploitation commerciale du CANDU

La présente partie est fondée sur la prémisse qu'une société d'État pourrait efficacement mettre en œuvre la politique de l'État si, en même temps, l'État poursuivait d'autres objectifs non commerciaux. À l'époque où on a lancé le programme de mise au point de réacteurs nucléaires, la commercialisation était clairement un aspect secondaire. On considérait cette activité comme une façon simple et commode de financer un effort de recherche qui prenait de plus en plus d'importance. Au départ, on espérait, par la recherche, acquérir un certain prestige et amener la population à se rendre compte que les activités d'éducation et de formation qui entraient dans la réalisation des projets de mise en valeur de l'énergie atomique faciliteraient la formation du personnel pour l'avenir. Un nombre restreint de mesures ont été prises en vue d'exploiter les possibilités commerciales. L'industrie de production des isotopes semblait se développer d'elle-même et, plus tard, le marché des réacteurs nucléaires a été créé grâce à la demande de Hydro-Ontario. L'EACL s'attendait que, compte tenu du taux prévu de croissance de la demande mondiale en réacteurs, les acheteurs viendraient d'eux-mêmes frapper à sa porte.

La recherche était la responsabilité première de l'EACL et de son organisme de parrainage au sein du gouvernement, mais le mandat de l'entreprise prévoyait des activités commerciales afin de financer la recherche. N'eût été de cette dernière obligation, il aurait été inutile de constituer l'EACL comme un organisme distinct du Conseil national de recherches. À l'époque, les possibilités commerciales futures de l'énergie nucléaire étaient perçues avec beaucoup d'optimisme. Cependant, ce sont les événements qui ont dicté l'orientation de l'EACL, plutôt que l'inverse. Avec le temps, le manque de savoir-faire dont ont fait preuve les hommes politiques au sujet de l'imposition de restrictions à des programmes scientifiques de prestige et de la participation de filiales américaines, conjuguée avec l'arrogance des bureaucrates et des experts techniques à l'endroit des activités commerciales, a tracé la voie de l'EACL. Ce n'est sûrement pas par hasard que Lorne Gray est devenu président de l'EACL à cette époque cruciale. Ses opinions et ses attitudes étaient connues de tous. La nomination à la tête de l'EACL d'un partisan de l'intervention directe de l'État était sûrement le résultat d'un processus politique quelconque. Dans cette perspective, on ne peut distinguer l'influence de l'EACL sur le gouvernement de l'influence du gouvernement sur l'EACL.

Au début du programme, on ne relevait aucune trace d'opportunisme. Toutes les parties semblaient avoir été bien informées et être conscientes du processus dans lequel elles étaient engagées. C'est ainsi que l'on a évincé la société GEC, qui était une concurrente sur les marchés CANDU, et que l'on s'est concentré sur l'association avec Hydro-Ontario. La décision du gouvernement de ne pas appuyer en même temps les soumissions de GEC en Argentine et en Finlande semble indiquer que le véhicule qu'il avait lui-même mis sur pied pour mettre au point la technologie nucléaire le satisfaisait pleinement.

Après 1968, les attentes du gouvernement à l'égard de l'EACL ont changé radicalement. Les possibilités commerciales ne faisaient pas contrepoids aux ponctions de plus en plus importantes sur le Trésor fédéral. Seule la province de l'Ontario avait bénéficié des retombées du programme, qu'il s'agisse du nombre d'emplois créés ou de l'importance de la capacité installée de production d'énergie nucléaire. Il était primordial pour le gouvernement fédéral que des ventes à l'étranger soient effectuées, ne serait-ce que pour justifier sa participation à un programme dont tirait seulement profit la province la plus riche du Canada à l'époque. On peut expliquer les échecs subis dans la production d'eau lourde par la volonté politique de faire bénéficier également les provinces maritimes et le Québec des avantages du programme. Après 1968, les intérêts politiques du gouvernement du Canada étaient liés presque exclusivement à la réussite commerciale du réacteur CANDU sur les marchés mondiaux. Non seulement cette réussite justifierait-elle l'affectation de fonds fédéraux aux yeux des électeurs et

des gouvernements d'autres provinces que l'Ontario, mais elle stimulerait la demande en eau lourde provenant des provinces maritimes et des services d'ingénierie du Québec. À ce moment-là, l'Ontario était déjà en mesure de satisfaire la presque totalité de ses besoins, sauf dans le secteur de la recherche. L'EACL devenait le promoteur du CANDU à l'étranger, jouant quelque peu le même rôle qui avait été attribué à GEC à peine quelques années auparavant.

Deux sources anonymes font valoir que le gouvernement du Canada a admis avoir des doutes sur la voie dans laquelle il s'était engagé résolument, c'est-à-dire la commercialisation des réacteurs nucléaires au moyen de ventes à l'étranger. La preuve en est que le Canada, un des nombreux pays qui essayaient d'exporter des réacteurs nucléaires et de l'uranium, a pris la tête d'un mouvement en vue d'obtenir des acheteurs des garanties selon lesquelles les réacteurs nucléaires et l'uranium fournis par le Canada ne seraient pas utilisés à des fins militaires (voir EMR, 1981*b*, p. 333; Noble, 1978; Legault, 1976; Keeley, 1980; Hunt, 1977). Mais ce n'est qu'en 1974, après l'explosion en Inde d'un engin nucléaire, que des considérations politiques auraient freiné les efforts de commercialisation déployés par le Canada. Par conséquent, les politiques de l'EACL ne tenaient nullement compte des garanties, du moins avant 1974. En outre, une des thèses majeures de la présente étude tend à démontrer que l'EACL n'a pas réussi à vendre des réacteurs CANDU dans des pays en développement, et surtout pas aux États-Unis ni en Allemagne de l'Ouest. Dans ces pays, tout comme en Grande-Bretagne et au Japon, la question des garanties n'aurait eu aucun effet sur les ventes de réacteurs CANDU.

Nous concluons donc que, au moins à partir de 1970, le gouvernement fédéral a attaché un certain prix à la réussite commerciale de l'EACL, surtout sur les marchés internationaux, non seulement pour les avantages financiers qu'il pouvait en tirer, mais également pour les retombées politiques dont il pouvait bénéficier. On n'a jamais empêché l'EACL d'assumer ses responsabilités en matière de commercialisation par la nécessité d'atteindre un objectif politique parallèle ou concurrent. Quand des considérations politiques intérieures ont été en cause, comme dans le cas de la construction d'usines d'eau lourde en Nouvelle-Écosse et au Québec, le gouvernement fédéral a fourni les fonds qui manquaient. On n'a jamais demandé à l'EACL de contribuer de ses propres deniers au financement des projets pour un groupe ou une région donnés.

4 Le cadre d'une analyse de l'organisation

La théorie de l'organisation, comme il est affirmé au chapitre 2, n'est pas assez avancée pour pouvoir fournir un cadre conceptuel suffisamment élaboré qui permettrait d'établir lequel, de l'entreprise publique ou de l'entreprise privée, serait le plus apte à véhiculer la politique du gouvernement. D'après la théorie actuelle, cependant, il semble préférable de recourir à l'entreprise privée lorsque l'activité ne vise pas à atteindre des objectifs publics à caractère non commercial. Toutefois, il est difficile d'évaluer quantitativement l'avantage que présente une entreprise privée par rapport à une entreprise publique. Il se peut que l'avantage soit négligeable et, dans ce cas, les quelques bienfaits politiques peuvent être fournis à un coût raisonnable par une entreprise publique.

Tant que la théorie ne sera pas plus perfectionnée, il sera normal d'évaluer la performance d'une entreprise publique en comparant son activité et son rendement aux méthodes de gestion synonymes de l'excellence.

La stratégie de l'entreprise

Les études traitant de la stratégie de l'entreprise forment un répertoire d'exemples de méthodes et de stratégies de gestion qui sont synonymes de réussite. Bien que ces facteurs ne soient pas immuables, ils sont pris en considération par la plupart des grandes sociétés privées dans la planification des stratégies. Dans cette perspective, il serait intéressant d'évaluer le rendement des cadres de l'EACL par rapport aux meilleurs résultats obtenus par les cadres du secteur privé.

Les théoriciens qui s'intéressent à l'organisation ne croient pas tous que les cadres sont en mesure de prescrire la structure, l'activité et le rendement de l'entreprise. Ces théoriciens, qu'il est commode ici de qualifier globalement de « partisans de la prépondérance de la conjoncture », croient que la structure et la stratégie de l'organisation se conforment à des conditions de fonctionnement préétablies, suivant des modalités prédéterminées.

Dans la présente étude, il est supposé que la conjoncture, bien qu'ayant un effet déterminant marqué, laisse quand même aux cadres une certaine latitude. Dans le modèle de stratégie de gestion retenu ici, les principaux décideurs d'une organisation en définissent les objectifs et orientent ses activités en vue de les atteindre.

Cette distinction doctrinale entre les théoriciens « partisans de la conjoncture » et ceux qui sont « adeptes de la stratégie » est d'une importance secondaire dans la présente étude. Le modèle de stratégie est retenu parce qu'il met en relief les facteurs qui contribuent à une gestion efficace. Il ne s'agit pas de reprocher après coup aux agents d'avoir adopté une stratégie qui semblait optimale à l'origine, mais de profiter de l'expérience acquise et d'en venir à mieux comprendre la voie dans laquelle s'engage le gouvernement lorsqu'il décide de favoriser l'expansion de nouvelles industries à risques élevés.

La théorie de la stratégie de l'entreprise n'est pas non plus perfectionnée au point de permettre à l'analyste de prévoir invariablement ce qui mène vraisemblablement à la réussite ou est voué à l'échec. Il est difficile, par exemple, d'expliquer pourquoi Xerox dont les percées technologiques font la renommée a permis à la société Apple et d'autres d'exploiter des innovations clés en micro-informatique qui avaient été mises au point dans ses laboratoires. Il n'est pas évident non plus comment IBM, qui a tardé à se lancer dans la micro-informatique et qui n'est généralement pas réputée pour sa souplesse, est rapidement devenue la principale concurrente de la société Apple, tandis que d'autres, en grand nombre, incluant de grands fabricants d'ordinateurs et des entreprises bien dirigées tels que Texas Instruments, Hewlett-Packard et Digital Equipment (DEC), ont tenté leur chance sans succès.

La gestion stratégique

Bien que le choix de stratégies relève du directeur général et des cadres supérieurs de l'entreprise, ce choix est déterminé par les éléments qui influent sur le rendement de l'entreprise. De façon générale, Donaldson et Lorsch (1983) ont dégagé trois éléments, à savoir : le marché financier, l'organisation et le marché des produits.

Les marchés financiers

Le marché financier est la source externe de financement et comprend à la fois les actionnaires et les sources d'emprunts. Donaldson et Lorsch ont observé que les entreprises tentent par tous les moyens d'éviter de recourir aux sources externes de financement. À cet égard, le rôle des cadres supérieurs est axé sur les ressources internes. Les grandes entreprises déploient des efforts considérables pour s'autofinancer. La plupart des entreprises de l'échantillon étudié par Donaldson et Lorsch planifient la croissance de l'actif d'une division en fonction des bénéfices qu'elle rapporte et que conserve l'entreprise.

Les cadres supérieurs considèrent toujours instables les sources externes de financement et cherchent à adopter des stratégies d'autofinancement des projets dont les risques sont jugés particulièrement élevés ou dont la mise en œuvre nécessitera beaucoup de temps. C'est pour cette raison que la matrice de croissance en fonction de la part du marché, élaborée par le Boston Consulting Group, a été bien accueillie par les chefs d'entreprises. La matrice combine deux thèmes fondamentaux, à savoir la diversification du portefeuille comme moyen de réduire les risques et le modèle de cycle de production, qui est complété par l'effet d'apprentissage ou d'expérience. La combinaison de ces effets incite les innovateurs à accélérer l'expansion et la croissance pour se tailler avant d'autres une part importante du marché. Les sommes investies au tout début du cycle de production doivent donc être considérables et peuvent être irrécupérables. Pour que les cadres arrivent à conserver l'appui des propriétaires et des créanciers, et qu'ils puissent prendre des mesures stratégiques, il est recommandé que l'entreprise établisse une gamme de produits à divers stades du cycle de production. Cela découle de la préférence pour l'autofinancement plutôt que pour le financement par emprunts.

Les efforts déployés par les entreprises pour ne pas être dominées par les marchés financiers s'expliquent en partie par l'attitude des cadres à l'égard des risques. Donaldson et Lorsch signalent que l'analyse explicite des risques n'entre pas dans le processus établi de planification des entreprises étudiées. Ils affirment que les cadres supérieurs croient que les risques peuvent être atténués en faisant preuve de circonspection et d'adresse. Les cadres supérieurs se méfient de l'évaluation des risques et possibilités faite de l'extérieur et estiment que la réussite à long terme répondra au besoin de financement. D'après Donaldson et Lorsch, de nombreux cadres d'entreprises ont délibérément diversifié la production en se lançant dans des secteurs autres que celui qui a traditionnellement fait la force de l'entreprise. Ils espéraient ainsi obtenir une plus grande stabilité, et donc plus de latitude dans le choix des stratégies.

Les marchés des produits

Le marché des produits exerce son effet principalement par l'intermédiaire des activités d'un petit nombre de concurrents importants. La « part du marché » ou le « rang de l'entreprise dans l'industrie » sont des critères dont se servent les cadres pour évaluer la réussite même lorsqu'il est difficile d'expliquer le lien entre ces mesures et la rentabilité par les économies d'échelle ou autres avantages que procure l'échelle de production. D'après Buzzell, Gale et Sultan (1975), la part du marché est un critère de réussite particulièrement important sur les marchés de biens de production. Ce principe est d'autant plus vrai lorsque les acheteurs sont peu nombreux et les achats peu fréquents, ce qui est clairement le cas sur le marché des réacteurs nucléaires.

L'organisation

Enfin, l'organisation est un élément qui restreint la latitude des cadres supérieurs parce qu'il est nécessaire, pour la stabilité de l'organisation, de garder ses spécialistes et ses cadres hautement qualifiés. Plus le niveau hiérarchique d'un employé est bas, plus sa mobilité est grande. L'ancienneté fait croître la valeur d'un employé pour l'entreprise, mais réduit sa valeur sur le marché du travail, parce que les connaissances et aptitudes de l'employé qui sont propres à l'entreprise en viennent à surpasser sa compétence générale. Les cadres supérieurs s'efforcent donc d'assurer la croissance de l'entreprise pour pouvoir offrir des possibilités d'avancement ou pour raffermir la fidélité envers l'entreprise.

Les services de recherche posent un problème de gestion particulièrement difficile. Les études abondent en exemples de divergences entre la mentalité des chercheurs et celle des autres employés de l'entreprise. Jauch (1983, p. 20) affirme que les chercheurs sont indépendants et capricieux, un peu comme les universitaires; l'utilité de leurs travaux et le temps nécessaire à les accomplir sont difficiles à établir.

Cette remarque est particulièrement pertinente dans le cas de l'EACL puisque certains estiment qu'avant 1978, la société affichait les caractéristiques d'une division de recherche appliquée dans une grande entreprise. Comme nous l'avons déjà signalé, depuis les premières années, les possibilités de vente ont été exploitées non pas comme une fin en elles-mêmes, mais comme un moyen de

financer des recherches plus poussées en physique et technique nucléaires. D'après Sims (1979, p. 40), M. MacKenzie croyait fermement que l'EACL devait avoir pour premier président un ancien chercheur.

La motivation des cadres

Dans le secteur privé, les cadres supérieurs n'ont presque plus de préoccupations financières. Une fois qu'ils ont atteint le sommet hiérarchique de l'entreprise, ils sont riches. Toutefois, leur richesse n'est pas assez diversifiée. Une part disproportionnée de leur richesse est immobilisée dans les capitaux propres de leur entreprise, de sorte que même si les cadres supérieurs sont riches, leur comportement est déterminé par les régimes de rémunération des cadres supérieurs. D'après les résultats d'une étude récente, Jensen et Zimmerman, ed. (1985) ont découvert que les régimes de rémunération des cadres supérieurs contribuent à faire concorder les intérêts des cadres et ceux des actionnaires. D'après les résultats, 1) il existe un lien positif entre la rémunération des cadres supérieurs et l'évolution du prix des actions; 2) il existe un lien entre le rendement médiocre de l'entreprise et le roulement plus élevé des cadres supérieurs; 3) les cadres choisissent les méthodes de comptabilité d'exercice pour accroître la valeur de leurs primes; 4) l'adoption de nouveaux régimes de rémunération à court et à long terme des cadres supérieurs et l'offre de conditions avantageuses de mise à la retraite contribuent à faire croître le prix des actions; et 5) les cadres qui détiennent une grande part des actions de l'entreprise ont moins tendance à présenter des offres de fusion qui abaissent la valeur de leurs actions.

Dans l'échantillon de 12 entreprises qui font partie des 500 plus grandes entreprises répertoriées par Fortune et qui ont été étudiées par Donaldson et Lorsch (1983), les 12 directeurs généraux avaient un âge moyen de 60 ans. En 1978, la moyenne de leurs traitements était de 326 000 $ et chacun d'eux détenait une part considérable des actions de l'entreprise, la valeur de leur part variant entre 300 000 $ et 500 millions de dollars. Dans le même échantillon d'entreprises, les données pour les cadres supérieurs autres que les directeurs généraux étaient légèrement inférieures : ils avaient en moyenne 56 ans, 26 ans d'ancienneté, un traitement moyen de 204 000 $, et ils détenaient des actions d'une valeur totale moyenne de 780 000 $. La valeur de leur part des actions de l'entreprise variait de 90 000 $ à 5,4 millions de dollars.

Ces données dégagées pour l'échantillon de 12 entreprises sont comparables à celles que révèlent l'examen des 500 entreprises. Cela laisse supposer que la connaissance des particularités d'une entreprise est d'une telle importance pour les cadres supérieurs qu'il est rare qu'ils soient recrutés à l'extérieur de l'organisation. Les cadres supérieurs sont le produit des entreprises qui les ont formés. Malheureusement, Donaldson et Lorsch n'ont pas analysé les aptitudes fonctionnelles dont sont dotés les cadres supérieurs lors de leur entrée en fonction, ce qui nous renseignerait sur les activités qui produisent les meilleurs stratèges. Dans le cas de l'EACL, les intérêts des cadres supérieurs ne sont pas liés à l'entreprise de la manière que nous venons de décrire. En 1982, les cadres supérieurs de l'EACL ont gagné globalement 955 167 $, comparativement à 746 700 $ en 1981. Ces traitements ne sont guère comparables au salaire de 200 000 $ (dollars américains) qu'ont perçu en 1978 les cadres exerçant des fonctions semblables dans les 500 plus grandes entreprises américaines répertoriées dans Fortune. Il va sans dire que les cadres supérieurs de l'EACL ne détiennent aucune part de son actif.

Les mesures prises par les cadres supérieurs pour s'acquitter des différentes responsabilités qui leur incombent sont déterminées par la part des capitaux propres de l'entreprise qu'ils détiennent, leurs liens d'affinité avec l'entreprise et le processus de sélection qui les ont portés au sommet de la hiérarchie. La menace de fusion ou de querelle de mandataires semble, au plus, inculquer une discipline aux cadres des grandes entreprises. La possibilité que le contrôle soit soustrait à un groupe de cadres et confié à un autre peut être une incitation au rendement, mais Donaldson et Lorsch croient que les cadres supérieurs sont motivés par d'autres facteurs. Par ailleurs, les cadres supérieurs sont peu nombreux; c'est pourquoi les entreprises veillent à bien récompenser les cadres qui ont atteint le sommet de la hiérarchie, pour s'assurer leur allégeance. Certains auteurs prétendent que les actionnaires sont protégés contre la paresse des cadres par l'existence d'un marché concurrentiel des cadres supérieurs. Donaldson et Lorsch ont constaté que les mécanismes d'avancement sont à ce point efficaces que le congédiement et le recrutement de cadres supérieurs sont un phénomène très rare.

Donaldson et Lorsch prétendent également que les cadres supérieurs sont fortement incités à bien s'acquitter de leurs fonctions par le désir d'être à la hauteur de leurs collègues et de conserver leur autonomie. La capacité de peser leurs différents intérêts se perd lorsque les revenus fléchissent.

En conclusion, les cadres supérieurs ont pour rôle d'acquérir une certaine autonomie leur permettant d'élaborer et d'exécuter les stratégies. Si l'un des éléments de l'entreprise acquiert pour eux une trop grande importance, il leur sera peut-être impossible de réorienter l'entreprise lorsqu'ils finissent par s'apercevoir que la voie

actuelle mène droit à la catastrophe. Lorsque ces principes sont appliqués à l'EACL, il ne semblerait pas que les cadres supérieurs aient l'indépendance nécessaire pour formuler et appliquer des stratégies. L'EACL subit l'effet déterminant des trois éléments constituants de son activité : le marché financier représenté par le gouvernement du Canada, le marché des produits constitué par l'entreprise associée, Hydro-Ontario, et par ses concurrents, notamment Westinghouse et Framatome, et enfin, son organisation composée en grande partie d'employés affectés à la recherche et au développement. En outre, les cadres supérieurs de l'EACL ne reçoivent pas de traitements ni d'incitations comparables à ceux des cadres d'entreprises privées qui s'acquittent de responsabilités semblables touchant l'élaboration et l'exécution des stratégies de l'entreprise.

L'EACL et le marché financier

L'aide financière du gouvernement fédéral

Le gouvernement du Canada joue le rôle de marché financier de l'EACL. Les sources externes de financement de l'EACL sont déterminées par les hommes politiques et les fonctionnaires. Le gouvernement du Canada a investi des sommes considérables. Le tableau 4-1 tiré d'une étude de Palda (1984) révèle l'importance de l'aide financière accordée à la recherche appliquée seulement. Si le gouvernement n'« achetait » pas de l'EACL des services de R-D, le bilan de l'entreprise serait très sombre. Toutefois, ce petit exercice de camouflage est utile dans la mesure où il fournit une indication du rendement des opérations courantes. En outre, le gouvernement finance l'exploitation continue du réacteur prototype et a radié la dette et les intérêts des diverses centrales et installations de production d'eau lourde qui, tant au point de vue technique que commercial, sont un échec total. Jusqu'à ce qu'il mette fin en mars 1985 à la production d'eau lourde en Nouvelle-Écosse, le gouvernement avait financé la production et l'entreposage de l'eau lourde, activités que l'EACL voulait cesser depuis un certain temps. Étant donné que les quantités d'eau lourde entreposées représentent 10 années d'approvisionnements sans débouchés en perspective, il y a lieu d'admirer l'influence politique en vertu de laquelle il a été possible, pour conserver quelques emplois dans une circonscription donnée, de justifier le versement annuel de centaines de millions de dollars durant de nombreuses années (surtout pour payer des facteurs de production d'énergie eux-mêmes subventionnés), même si le gaspillage doit être déploré. En 1982 seulement, le gouvernement du Canada a avancé environ 284 millions de dollars à l'EACL, sans perspective réaliste de tirer un profit de son investissement. Du montant total, 138 millions de dollars étaient destinés à respecter des anciens engagements comme l'entretien de Gentilly I et le réacteur de Douglas Point, de même que la production continue d'eau lourde. Cet investissement s'ajoutait aux 750 millions de dollars dépensés pour construire une usine d'eau lourde que le gouvernement a radié en 1971. Palda estime que le gouvernement fédéral a investi, depuis 1982, environ 6 milliards de dollars de 1981, dont les deux tiers ont financé la R-D, le reste ayant servi à payer pour les réacteurs prototypes et les usines d'eau lourde. Les estimations de Palda font délibérément abstraction du coût d'option des sommes avancées. Si l'on suppose que ce coût d'option correspond à un taux de rendement réel de 7,5 %, le coût actuel des sommes investies du Canada est très considérable, soit plus de 14,2 milliards de dollars (en dollars de 1981) jusqu'en 1981 pour la R-D seulement.

Même si les montants sont énormes, il y a néanmoins sous-estimation du coût total supporté par le gouvernement fédéral. Les prêts consentis aux entreprises provinciales de services publics sont assortis de faibles taux d'intérêt, tandis que les ventes à l'étranger sont subventionnées en vertu d'ententes de financement des exportations.

Contrairement aux stratèges des sociétés étudiées par Donaldson et Lorsch et au nombre des 500 entreprises répertoriées par Fortune, qui tiennent en main le financement, les cadres supérieurs de l'EACL sont sous l'empire d'un marché financier externe. Pour cette raison, ils ont moins de latitude pour choisir les stratégies et sont prédisposés à être, selon Miles et Snow (1978), des « réactifs ».

Le déplacement de l'autorité vers le gouvernement

Étant donné les conditions qui viennent d'être exposées, la compétence en matière d'élaboration des stratégies ne peut résider dans l'entreprise. Le gouvernement détient l'autorité à cet égard et cette influence s'exercera plus que toute autre chose sur les stratégies. Si, comme le prétendent Donaldson et Lorsch, l'élaboration et l'exécution des stratégies supposent nécessairement la permanence et la cohésion de ceux qui en sont chargés, de même qu'un profond engagement continu et une forte centralisation de l'autorité, il n'est pas raisonnable de s'attendre à ce que le gouvernement, en qualité de source externe de financement, joue un rôle de premier plan dans la conception des stratégies. D'après Tavel (1975), ce qui fait la valeur d'un processus de planification structuré, c'est l'inspiration qui anime celui qui le conçoit et sans laquelle la planification est rarement créative.

Tableau 4-1

Dépenses du gouvernement fédéral pour le financement des travaux de recherche appliquée relatifs à l'énergie nucléaire, Canada, 1947-1982

Dépenses en dollars courants et en dollars de 1981
financées par des crédits budgétaires
En millions de dollars

	R-D EACL	Recherche CCEA	Réacteur NRU et installations de Chalk River	Dépenses totales en R-D (En dollars courants)	Dépenses totales en R-D (En dollars de 1981)[5]
1981-1982	145,715	–	–	145,715	145,715
1980-1981	123,119	–	–	123,119	136,660
1979-1980	114,654	–	–	114,654	140,680
1978-1979	119,120	–	–	119,120	161,230
1977-1978	128,490[1]	–	–	128,490	184,865
1976-1977	110,058[2]	–	–	110,058	169,295
1975-1976	93,576	11,346	–	104,922	177,083
1974-1975	85,921	10,375	–	96,296	179,871
1973-1974	87,918	7,245	–	95,163	204,898
1972-1973	78,206	7,896	–	86,102	202,335
1971-1972	77,048	11,720	–	88,768	219,035
1970-1971	68,942	7,100	–	76,088	193,768
1969-1970	69,000	5,400	–	74,400	198,250
1968-1969	68,600	3,959	–	71,195	198,041
1967-1968	66,500	2,500	–	69,000	198,189
1966-1967	57,983	2,000	–	59,983	178,721
1965-1966	52,667	1,600	–	54,267	169,293
1964-1965	45,158	1,250	–	46,408	149,491
1963-1964	44,924[3]	0,900	-13,761	32,063	105,757
1962-1963	37,062	0,770	–	37,832	127,175
1961-1962	33,933	0,700	–	34,633	118,144
1960-1961	38,218	0,650	–	38,828	132,875
1959-1960	29,408	0,650	1,098	31,156	107,973
1958-1959	25,684	0,400	4,714	30,798	108,866
1957-1958	21,131	0,400	8,863	30,394	108,929
1956-1957	21,544	0,300	11,001	32,845	120,241
1955-1956	18,626	0,300	12,554	32,886	124,840
1954-1955	14,645	0,300	6,967	20,506	78,326
1953-1954	12,360	0,300	4,009	16,669	41,131
1952-1953	12,610	0,300	4,794[4]	17,704	68,579
1951-1952	12,076	0,200	–	12,276	49,656
1950-1951	7,177	0,150	–	7,327	32,990
1949-1950	6,618	0,150	–	6,768	31,440
1948-1949	5,747	0,143	–	5,890	28,327
1947-1948	5,573	0,150	–	5,723	30,893
Dépenses totales de R-D, 1947-1982					4 683,396

1 Exclut la dépense budgétaire de 87 571 millions de dollars correspondant à la radiation de la dette relative à Gentilly I.
2 Exclut la dépense budgétaire de 85 491 millions de dollars correspondant à la renonciation aux intérêts pour les réacteurs de Gentilly I et de Douglas Point.
3 Exclut la dépense budgétaire de 25 239 millions de dollars correspondant à la radiation de la dette relative au réacteur NRU.
4 Poste hors caisse : valeur de l'actif du projet de Chalk River au 31 mars 1952, année de création de l'EACL.
5 Indice des prix de la DNB (1971 = 100), années financières du 31 mars 1977 au 31 mars 1982; indice de 1981, 246,75.
SOURCE Palda (1984), pp. 105-106.

Il va sans dire que le gouvernement ne peut assurer la permanence et la cohésion nécessaires à cette activité. Les responsabilités sont partagées entre différents ministères et l'intérêt des hommes politiques varie. Les sous-ministres qui sont membres du conseil d'administration de l'EACL ne sont pas présents à toutes les réunions et lorsqu'ils y assistent, leur préparation se résume à des renseignements fournis à la hâte par des fonctionnaires subalternes.

Des cadres supérieurs en poste en 1984, seul A. J. Mooradian, vice-président général, avait les années de service à l'EACL que Donaldson et Lorsch estiment être la marque d'une bonne gestion de l'entreprise. Sans exagération, on peut affirmer que la plupart des cadres supérieurs qui dirigent actuellement l'EACL sont entrés en fonction depuis 1978.

L'organisation de l'EACL

Toutes les personnes consultées affirment que la société a évolué depuis 1978. Jusqu'alors, elle était le reflet de ses origines, soit un laboratoire de R-D du gouvernement. La commercialisation a toujours été considérée comme une fonction accessoire à l'activité principale, la recherche en physique et en technique nucléaires.

Reste à savoir s'il est possible de greffer de manière efficace une orientation commerciale à une organisation de R-D ayant 30 ans de succès mesuré selon ses normes internes.

La gestion de systèmes techniques complexes

La gestion de vastes systèmes techniques complexes a fait l'objet de nombreuses études. Sayles et Chandler (1971) ont effectué une analyse approfondie, sur trois ans, de la NASA et du programme d'énergie atomique des États-Unis. Ce qui étonne le plus dans ces études, c'est l'effort de gestion considérable qui doit être déployé, même en l'absence d'une vocation commerciale. Les échecs sont nombreux, et les réussites, franchement surprenantes. Depuis que l'auteur a lu le rapport, chaque lancement d'un véhicule spatial par la NASA suscite chez lui de l'appréhension. (Cette dernière phrase est tirée d'une version antérieure rédigée avant l'accident du Challenger; l'auteur a choisi de la laisser dans la version finale pour produire un effet.) Dès 1971, Sayles et Chandler ont observé que les échecs étaient courants dans le cas des programmes militaires américains, mais aussi dans la mise au point de trains à très grande vitesse, la fabrication de cuves de réacteur à haute pression et d'eau lourde et des projets d'électronique et de construction de pointe (p. 4).

D'après Sayles et Chandler, la gestion de vastes systèmes de développement diffère de celle d'entreprises commerciales classiques. Depuis toujours, les cadres ont appris à définir les buts ultimes, à fixer des objectifs qui permettront d'atteindre ces buts et à élaborer des plans opérationnels. Malheureusement, ce processus logique et rassurant est perturbé par la réalité des vastes systèmes. Des objectifs bien définis masquent fréquemment des motivations incompatibles qui traduisent les vues divergentes de groupes d'une coalition provisoire. Souvent les techniques opérationnelles courantes imposent des objectifs qu'elles permettent d'atteindre, plutôt que l'inverse. La planification devient alors un processus itératif dynamique, ce qui mène inévitablement à un affaiblissement de l'autorité puisqu'un petit groupe de planificateurs qualifiés supérieurs ne peuvent définir la stratégie (p. 4). Dans le cas du projet de développement CANDU, les éloges que s'empressent de formuler ceux qui y ont participé semblent justifiés. L'évolution du projet a été jalonnée de nombreuses difficultés, mais le projet est le seul d'un grand nombre à avoir survécu ne serait-ce qu'à une petite échelle, la filière CANDU étant l'unique concurrent du réacteur à eau légère sous pression subventionné par les États-Unis.

L'attention insuffisante accordée à l'eau lourde

Le plus grand défaut du programme est l'attitude presque cavalière qui semble avoir été adoptée à propos de l'approvisionnement en eau lourde et de la facilité de produire cet élément essentiel. (Voir le tableau 4-2 où sont énumérées les installations d'eau lourde.) Il est presque certain que les problèmes liés à la production de l'eau lourde et l'incertitude au sujet de son prix ont nui à la commercialisation de la filière CANDU à diverses occasions importantes. Ces facteurs ont beaucoup influé sur la décision de la Grande-Bretagne de préférer la filière à eau légère au réacteur CANDU.

La négligence témoignée à l'égard de la production d'eau lourde est moins étonnante si l'on considère que l'EACL a pour mandat l'avancement de la technologie nucléaire. En rétrospective et avec un certain recul, les cadres de l'EACL qui étaient en fonction durant les années 60 peuvent être exonérés de tout blâme si l'on prend pour acquis que leur attention était centrée sur l'entreprise et que leur mandat les obligeait à se concentrer sur le développement de la filière CANDU, un peu comme la NASA s'est appliquée à mettre un homme sur la lune.

Tableau 4-2

Capacité de production d'eau lourde au Canada
En tonnes/année

	Capacité normale	Situation
Usines :		
Hydro-Ontario		
Bruce HWP-A	800	– en exploitation
Bruce HWP-B	800	– en exploitation
Bruce HWP-C	(800)	– abandon au stade de la planification
Bruce HWP-D	(800)	– exploitation mise en veilleuse (1/2) – construction retardée (1/2)
EACL		
Glace Bay HWP (N.-É.)	400	– en exploitation
Port Hawkesbury (N.-É.)	400	– en exploitation
La Prade (Québec)	(800)	– mise en veilleuse avant l'achèvement

SOURCE Canada, ministère de l'Énergie, des mines et des ressources (1982), p. 14.

L'EACL ne perçoit pas ainsi historiquement. À son avis, les efforts de l'entreprise étaient stimulés par la commercialisation plutôt que par le développement de la technologie. Dans un mémoire officiel, il a été affirmé que les programmes et calendriers de R-D étaient établis en fonction des exigences de la mission AECL (Robertson, 1984). Ce fut peut-être le cas, mais le choix de mission ne semble guère avoir retenu l'attention. Du mois de février 1959 au milieu des années 70, la mission semble avoir consisté à développer la technologie CANDU en collaboration avec Hydro-Ontario. Ce n'est que depuis les 10 dernières années que l'EACL s'est tournée vers le marché international sur lequel l'ont devancée d'autres entreprises. L'effort de commercialisation a manqué à ce point d'énergie qu'il y a lieu de se demander dans quelle mesure les cadres supérieurs, en s'acquittant de leur tâche, n'ont fait que réagir aux pressions exercées par le gouvernement et les fabricants de systèmes pour la filière CANDU.

Bref, les cadres supérieurs considéraient que la commercialisation était une activité accessoire, bien que nécessaire, pour fournir certains débouchés aux fabricants et de faibles possibilités de rendement aux contribuables.

En 1976, il est devenu évident que l'Ontario ne commanderait pas beaucoup de réacteurs. Jusqu'en 1974, toutefois, la demande d'électricité croissait à un taux annuel de 7 %, de sorte que si la filière CANDU permettait de remplacer le charbon en Ontario seulement, les perspectives futures semblaient assez prometteuses pour justifier une industrie suffisamment importante pour répondre uniquement à la demande canadienne.

Sims accorde une grande importance au « syndrome » de recherche qui amène l'entreprise à croire que ses employés doués peuvent apporter une solution à tout problème technique. Il peut avoir raison, mais c'est précisément ce « talent audacieux » qui est nécessaire de promouvoir dans un projet orienté vers le développement. Les cadres supérieurs sont restés fidèles à l'organisation; c'eût été courir au désastre à l'intérieur de ses propres frontières que d'agir autrement en rêvant de faire une percée sur le marché international, rêve qui aurait pu ne jamais se réaliser.

Les changements survenus à l'EACL depuis 1978

Depuis 1978, le président de l'EACL, James Donnelly, a modifié la politique de gestion de la société pour mettre davantage l'accent sur la commercialisation. Dans les critères de sélection des futurs cadres (ligne directrice 20102 adoptée en mai 1984, p. 13), l'aptitude à la commercialisation est la première d'une longue liste de qualités requises de la part des cadres. Viennent ensuite les aptitudes générales à la gestion (aptitudes de chef de file et adresse dans les relations humaines); un bon esprit d'équipe; une bonne interprétation des phénomènes externes; un esprit de synthèse couplé à un sens de la stratégie; une capacité d'entreprise; l'adaptabilité; et, en dernier lieu, les aptitudes généralement associées à la profession et à la gestion. On accorde beaucoup d'importance à ce que les cadres assurent l'avancement des subalternes prometteurs. Bien sûr, toute organisation a une politique de ressources humaines implicite qui peut être compatible avec la structure établie. Néanmoins, les personnes consultées par l'auteur confirment que la vocation commerciale a l'appui total des cadres supérieurs, même si elle soulève une certaine opposition parmi les subalternes. Les employés de l'EACL semblent apprécier la grande compétence en gestion de James Donnelly, mais celui-ci ne semble pas inspirer le même respect que ses prédécesseurs. Cela reflète probablement la saine tension que suscite toute tentative de modifier la culture et les tendances d'une organisation.

Le programme d'incitation au rendement des cadres supérieurs témoigne d'une préoccupation semblable à l'égard du rendement net. La prime habituelle correspond à 15 % du traitement annuel. Elle peut être refusée ou

majorée, selon la performance de l'entreprise et la cote de rendement du cadre supérieur. Bien que la prime ne représente pas un montant considérable, compte tenu du niveau relativement faible des traitements des cadres supérieurs, elle témoigne néanmoins de la grande importance accordée au rendement.

Les traitements des cadres supérieurs de l'EACL ne sont pas aussi élevés que ceux des cadres des 500 entreprises répertoriées par Fortune mais, d'après les données recueillies par Hays and Associates, ils correspondent aux traitements que reçoivent les cadres supérieurs de certaines sociétés canadiennes de technogénie. Ce que l'auteur en déduit n'est peut-être qu'une hypothèse mais il se pourrait bien que la rémunération des cadres supérieurs de filiales canadiennes de grandes sociétés américaines est ainsi fixée parce que l'on ne s'attend pas à ce qu'ils jouent un rôle de premier plan dans l'administration de la stratégie. Il leur reste encore beaucoup à faire avant d'avoir accès au centre du pouvoir de leur organisation et leur traitement traduit le fait que l'on attend moins d'eux. Les cadres supérieurs de l'EACL se trouvent peut-être aussi dans la même situation puisque l'EACL est une société appartenant au gouvernement du Canada. Malheureusement, quelle que soit l'importance d'expertise en administration des stratégies du bassin dans la fonction publique fédérale, cette expertise est orientée vers d'autres secteurs.

Quoi qu'il en soit, l'année 1978 a été le tournant de l'évolution de l'EACL. Avant 1978, les traitements des cadres supérieurs correspondaient aux taux de salaire en vigueur dans la fonction publique et les vice-présidents étaient rémunérés à un taux équivalant à celui des sous-ministres adjoints. Étant donné le faible écart entre les salaires dans la fonction publique, il ne devait pas y avoir de grande différence entre les salaires des ingénieurs au premier palier et les traitements des cadres supérieurs. Ainsi, comme c'est le cas dans les universités, il y avait une forte incitation à rester subalternes et à éviter l'avancement.

Les difficultés survenues au milieu des années 70 ont incité le Conseil à repenser la politique salariale et à recruter un président à l'extérieur de la fonction publique. Le nouveau président, James Donnelly, a acquis de l'expérience dans la gestion de projets d'envergure internationale, notamment dans l'industrie des pâtes et papiers, et auprès de la General Electric (Royaume-Uni) où il a été responsable de projet dans l'industrie nucléaire britannique. Le vice-président exécutif a travaillé pour Control Data. En plus de majorer les traitements de ses cadres supérieurs, l'EACL a pris des mesures pour raffermir ses compétences en gestion de projets. Des techniques commerciales ont été adoptées et assorties de primes importantes au rendement. À l'heure actuelle, l'EACL détient 13 % d'une nouvelle entreprise de gestion de projets appelée « Nuclear Project Managers » qui fournit des services contractuels de gestion de projets. De toute évidence, les lacunes de l'EACL en matière de gestion de projets ont nui à sa réputation, dans le passé, en Argentine et dans le cas de projets canadiens. De l'avis de nombreux analystes, le problème était attribuable en partie au cloisonnement des attributions en matière de gestion de la construction et de conception des différentes composantes des centrales.

Bien que les salaires ne soient plus alignés sur ceux du secteur public, ils ont néanmoins été assujettis à la *Loi sur les restrictions salariales du secteur public* (programme des 6 et 5 %) puisque l'EACL est une société d'État et, ces dernières années, cette loi a entravé l'application du programme de rémunération des cadres supérieurs décrit précédemment.

La dimension la plus notable de la réorientation de la politique est l'importance accordée aux équipes de création de débouchés commerciaux, un service interne de stratégie commerciale chargé de stimuler la commercialisation des vastes compétences du personnel, notamment celui de la Société de recherche de l'EACL.

Aucune information n'a été recueillie sur le succès de ces équipes ni sur les primes versées aux entrepreneurs internes qui réussissent. Toutefois, les cadres supérieurs semblent nettement d'avis que ces équipes sont des mécanismes d'avancement rapide pour les employés dynamiques et doués.

Il n'y a aucun doute que l'EACL insiste sur la mise en valeur des ressources existantes par de multiples moyens à portée limitée, plutôt que d'attendre que se matérialisent de nombreuses commandes de réacteurs CANDU.

Une des difficultés qui se posent pour l'EACL est rattachée au fait que l'esprit d'entreprise est une caractéristique habituellement associée aux jeunes. La plupart des activités nouvelles d'une société sont lancées par des employés de moins de 30 ans. Or, le personnel de la Société de recherche de l'EACL vieillit. Il n'y a pas eu de renouvellement des effectifs de la Société durant la dernière décennie et elle embauche moins de nouveaux diplômés qu'auparavant.

Bref, avant 1978, l'organisation de l'EACL était axée sur la R-D plutôt que sur la commercialisation. Les cadres

n'accordaient pas d'importance aux bénéfices et la formation en gestion et en commercialisation était inexistante. L'activité de l'EACL semble avoir été déterminée par sa mission mais la stratégie implicite adoptée par cette société touchant les opérations commerciales était mal adaptée à la conjoncture de l'époque. Plutôt, cette stratégie n'était pas bien définie et de nombreux observateurs de l'extérieur, notamment le gouvernement, peuvent avoir eu une conception toute autre de l'objectif visé par l'EACL.

Depuis 1978, l'EACL a reconnu le besoin de se réorganiser pour pouvoir traverser la période de restriction de l'aide gouvernementale à la R-D et de diminution, voire d'absence, de nouvelles commandes de réacteurs CANDU. Il faudra attendre pour voir si l'EACL survivra à cette période de vaches maigres, mais l'observateur occasionnel garde l'impression qu'on ne néglige aucune des avenues menant au changement. Quoi qu'il en soit, la réussite de la restructuration sera vaine si les cadres supérieurs ne marquent pas d'importants progrès sur le marché des produits de l'entreprise.

Le marché des produits

La diversification

Les cadres de l'EACL n'ont jamais été et ne sont toujours pas assez affranchis des forces externes pour pouvoir manœuvrer habilement sur le marché. D'abord, l'EACL ne peut vraisemblablement pas envisager de se lancer dans des activités ne relevant pas des pouvoirs confiés au ministre de l'Énergie, des mines et des ressources en vertu du paragraphe 10(1) de la *Loi sur le contrôle de l'énergie atomique*, ce qui limite les possibilités de diversification pouvant contribuer à réduire les risques. Depuis ses débuts, l'EACL s'est occupée de la commercialisation du cobalt et d'autres isotopes servant aux irradiations thérapeutiques. Malheureusement, et comme on pouvait s'y attendre, les profits de cette activité n'ont été qu'une source irrégulière de financement des activités principales de l'entreprise puisque de nouveaux arrivants ont mis au point d'autres technologies et ont réussi à miner la prédominance de l'EACL sur le marché. Sims (1981) examine la réaction de l'EACL à cette situation, mais cet aspect ne présente qu'un intérêt secondaire dans la présente étude.

Compte tenu des possibilités restreintes de diversification, les cadres de l'EACL sont forcément devenus prisonniers du marché des réacteurs nucléaires. Au cours des années 50, il n'existait au Canada que deux entreprises de services publics de taille assez grande pour être des acheteurs éventuels de réacteurs de l'EACL. L'une d'entre elles, Hydro-Québec, a entrepris des projets d'envergure pour mettre en valeur des ressources hydro-électriques à l'époque même où l'on proclamait que l'énergie nucléaire allait bientôt permettre de produire de l'électricité et d'éliminer le besoin de compteurs. Hydro-Ontario est donc devenue l'unique grand acheteur. Depuis, l'EACL a vendu un autre réacteur au Nouveau-Brunswick. À l'heure actuelle, il semblerait exister des débouchés au Québec et de vagues possibilités que l'EACL installe un ou deux réacteurs en Colombie-Britannique et un autre dans les Maritimes.

L'intégration

L'EACL est presque la seule entreprise du monde à vendre des réacteurs nucléaires sans être pour autant un établissement de fabrication intégré. L'intégration des fabricants de composants nucléaires, de la conception (en amont) jusqu'à la commercialisation (en aval), a été fortement recommandée par Lortie et Schweitzer (1981) dans un rapport préparé par Secor Inc. à la demande de sociétés privées de génie et de fabrication œuvrant dans le secteur. Il est peu probable que la concurrence du secteur privé ne devienne une menace pour l'EACL parce que les perspectives immédiates sont à ce point réduites qu'aucune entreprise privée ne voudrait courir le risque à elle seule. Au pis aller, les pressions des fabricants sur le gouvernement peuvent mener à réduire davantage l'autonomie de l'EACL en l'obligeant à accepter la formule de la coentreprise.

Au Canada, l'EACL doit affronter de puissants acheteurs indépendants (Hydro-Ontario a à toutes fins utiles opéré l'intégration en amont de toutes les étapes de conception et de construction d'un réacteur nucléaire, à l'exception de la recherche), de même que des fournisseurs dont l'influence encore faible, pourrait devenir déterminante. À l'étranger, l'EACL doit soutenir la vive concurrence sur les marchés libres alors que d'autres sont fermés aux producteurs étrangers. Même le marché canadien ne lui est pas acquis. Si une entreprise provinciale décidait d'utiliser un réacteur à eau légère de fabrication américaine pour fournir de l'électricité, il s'ensuivrait un affrontement politique et il n'est pas certain que l'EACL et les fournisseurs canadiens en sortiraient vainqueurs. Placés en position désavantageuse, les cadres de l'EACL sont donc pris entre deux feux, ne disposant que d'une marge de manœuvre très réduite (M. Porter, 1982, p. 41).

La stratégie visant le marché des produits

Pour élaborer une stratégie donnée axée sur le marché des produits, les cadres d'une entreprise doivent d'abord répondre à deux questions simples qui sous-tendent toute bonne stratégie commerciale.

1 Quel produit avons-nous à vendre et qui voudrait l'acheter ?

2 Qui sont nos concurrents réels ou éventuels, et quelle part du marché occupent-ils ?

Ces questions, pourtant assez simples, on oublie souvent de se les poser ou on les juge trop souvent pour évidentes.

Il y a quelques années encore, il n'y avait pas assez d'information pour pouvoir déterminer la nature du marché des réacteurs nucléaires, de sorte que personne n'était en mesure de répondre aux deux questions précédentes. Les stratèges en étaient réduits à des conjectures qui n'étaient guère plus que des coups à l'aveuglette. Les premiers à s'attaquer au problème ont été deux entreprises américaines; les grandes lignes de leurs stratégies commerciales comparées à celles du programme nucléaire français, constituent un bon point de départ pour l'analyse de l'industrie nucléaire canadienne. En dépit du fait que, d'après Bupp et Derian (1978), le programme nucléaire des États-Unis soit celui dont l'échec fut le plus retentissant, cette industrie n'en demeure pas moins la plus importante et, pour cette raison, joue un rôle prédominant sur le marché mondial auquel participe l'EACL. Avant de passer à l'examen des programmes nucléaires à l'étranger, il convient d'abord de faire un tour d'horizon des différentes stratégies que peuvent adopter les producteurs de l'industrie nucléaire.

La détermination de la stratégie : production à coûts plus avantageux, production différenciée, production orientée

L'entreprise qui est en solide position stratégique est celle qui a réussi à se faire reconnaître à l'un des trois points de vue :

- pour sa capacité de faire prévaloir des coûts plus avantageux de façon générale;

- pour sa production différenciée; et

- pour sa production orientée.

Une stratégie tournée vers la production à meilleurs coûts peut amener une entreprise à étendre ses activités à l'échelle mondiale. Dans les secteurs industriels où il est possible de faire d'importantes économies d'échelle, de rétablir la normalisation ou de réaliser des économies rapides grâce aux connaissances et à l'expérience acquises, l'industrie acquiert une envergure *mondiale*. L'entreprise dont les coûts de production sont les plus faibles sera celle qui réussit à adopter une échelle que nulle autre entreprise ne peut imiter. Lorsqu'une technologie est nouvelle, de nombreuses entreprises peuvent tenter de dominer le marché mondial, mais seulement quelques-unes réussissent à survivre lorsque, dans le cycle de production, le stade de plein développement est atteint. Les pays qui s'assurent un monopole intérieur par diverses mesures de protection peuvent réussir si leur marché est suffisamment vaste et s'ils peuvent bien soutenir la concurrence sur les marchés d'exportation. Si la protection est telle que les producteurs du pays sont incapables de vendre à l'étranger et d'y concurrencer d'autres fournisseurs, alors la stratégie échoue et la technologie du pays affiche inévitablement un retard de plus en plus grand.

La différenciation peut se manifester sous de nombreux aspects, y compris sur le plan de la perception de la qualité. Dans le cas des produits de marque, la différenciation est une stratégie qui permet à l'entreprise de se tailler un créneau sur le marché en lui donnant une place distincte dans l'esprit du consommateur. Pour les producteurs de biens industriels, notamment de produits de grande dimension qui se vendent de façon irrégulière, la stratégie de différenciation devient plus problématique, et les acheteurs peuvent être tout aussi avisés que les vendeurs. Toutefois, lorsqu'il existe peu d'information sur le rendement et la fiabilité d'un produit, les acheteurs, même les plus judicieux, auront tendance à étudier le marché pour renforcer leur analyse. Au lieu de se fier à leur propre jugement, les acheteurs auront une propension à se tourner vers le chef de file et à rechercher la sécurité qu'offre le partage des responsabilités. L'instinct grégaire, qui se manifeste probablement de façon plus forte chez les acheteurs placés dans un contexte bureaucratique, avantage l'entreprise dominante du secteur. Par ailleurs, la différenciation n'est pas bénéfique lorsqu'un fabricant à grande échelle et à faibles coûts peut acquérir une part importante du marché et ne peut être délogé par de plus petits producteurs. L'instinct de l'acheteur n'est pas non plus complètement illogique, puisque l'entreprise technologiquement dominante profitera vraisemblablement des efforts plus grands consacrés à la recherche appliquée et conservera probablement l'avance sur ses concurrentes.

La stratégie de production orientée suppose à la fois la spécialisation et un engagement à l'égard d'un segment particulier du marché. Lorsqu'un fabricant à grande échelle est contraint d'offrir un produit homogène, de réduire la qualité des services et de diluer ses efforts, une entreprise dont les coûts de production seraient plus élevés pourrait réussir à exploiter un segment rentable du marché.

L'industrie nucléaire des États-Unis et de la France

Les antécédents de l'industrie américaine

En 1951, à Shippingport (Pennsylvanie), Westinghouse a commencé à construire le premier réacteur devant servir à la production commerciale de l'électricité aux États-Unis. Le projet, auquel participait une entreprise de services publics et qui avait l'appui de l'Atomic Energy Commission des États-Unis, consistait à construire un petit réacteur de démonstration. Les commandes commencèrent sérieusement en 1955, mais la phase d'expansion de l'industrie s'est produite entre 1965 et 1968. Au tableau 4-3 sont indiquées toutes les commandes faites jusqu'en 1976.

D'après le tableau 4-3, il est clair que l'on ne connaissait presque rien de l'exploitation d'une grande centrale nucléaire lorsque les commandes ont commencé à affluer en 1968. En 1965, la capacité à l'échelle mondiale, détenue donc par des centrales dont la construction avait été commencée avant 1960, ne dépassait pas 902 MW.

L'avalanche de commandes a été déclenchée lorsque la General Electric (GE) a annoncé, en décembre 1963, le projet de construction d'un réacteur à eau légère de 515 MW à Oyster Creek pour le compte de la Jersey Central and Light Company, cette vente étant la première à se justifier pour des raisons économiques et non pas seulement pour des fins de développement. Selon les estimations, le coût en capital devait s'élever à 100 $/kW de capacité installée, et le facteur d'utilisation devait atteindre 88 % pendant la première moitié de la durée utile de 30 ans prévue pour le réacteur. D'après la Jersey Central and Light Company, le coût de l'électricité produite par la centrale nucléaire devait correspondre à celui d'une centrale thermique au charbon, le prix de ce dernier étant de 20 cents/MBtu. À l'époque, l'entreprise payait 29 cents/MBtu.

Tableau 4-3

Croissance de la capacité nucléaire aux États-Unis, 1955-1976

	Nombre initial	Annulations	Nombre final	Nombre	MW(e)	Nombre de réacteurs installés	MW(e)
1955	5	–	5	–	–	–	–
1956	2	–	2	–	–	–	–
1957	2	–	2	–	–	–	–
1958	3	–	3	–	–	–	–
1959	1	–	1	–	–	–	–
1960	–	–	–	1	200	1	200
1961	1	–	1	1	175	2	375
1962	1	–	1	1	265	3	640
1963	4	–	4	1	140	5	780
1964	–	–	–	3	50	8	830
1965	7	–	7	1	72	9	902
1966	21	–	21	1	90	10	992
1967	31	–	31	1	40	9	1 004
1968	16	–	16	2	1 025	10	2 007
1969	8	–	8	2	1 260	12	3 267
1970	15	1	14	3	1 796	15	5 036
1971	21	1	20	6	3 615	21	8 678
1972	38	5	33	8	5 673	29	14 351
1973	37	5	32	7	4 513	36	18 864
1974	33	11	22	11	9 527	46	28 351
1975	4	6	–2	10	8 837	56	37 188
1976	3	10	–7	3	2 627	59	39 815

SOURCE Montgomery et Quirk (1976).

Bupp et Derian (1978) font état des critiques portées sans ménagements de membres de l'industrie à l'égard d'un porte-parole de l'entreprise de services publics, Philip Sporn, qui doutait de ces données. Toutefois, même M. Sporn s'est limité à mettre l'accent sur les améliorations que l'on comptait apporter aux centrales thermiques à charbon ou au mazout, plutôt que de mettre en doute les assertions des vendeurs de réacteurs nucléaires.

En 1965, GE et Westinghouse avaient vendu huit réacteurs à un prix fixe en vertu de contrats clés en main (voir le tableau 4-4). En 1967, 75 réacteurs correspondant à une capacité totale de 45 000 MW avaient été commandés par des entreprises de services publics à quatre fabricants américains. Les projets clés en main ont été abandonnés après la vente du huitième réacteur; dorénavant, les risques seraient partagés entre les fabricants et les entreprises de services publics. La concurrence est néanmoins restée très vive et de nombreuses techniques de vente ont été utilisées pour stimuler la vente de réacteurs aux entreprises de services publics. Par exemple, Westinghouse a offert à ceux qui achèteraient un réacteur de les approvisionner en uranium à un prix fixe pour toute la durée de vie des installations. On connaît la suite (voir Joskow, 1977) : des poursuites ont été intentées parce que Westinghouse n'a pas respecté son engagement.

Le coût en capital, en dollars réels, des installations mises en service en 1975 était environ le triple de celui des centrales vendues en vertu de contrats clés en main (voir le tableau 4-5). Pour bon nombre de personnes, cet accroissement des coûts était attribuable à des projections erronées et à la vente à prix très réduits par GE et Westinghouse pour s'attirer une clientèle. Toutefois, Montgomery et Quirk (1976) ont conclu que l'accroissement résultait de la combinaison de deux phénomènes, soit l'engorgement de l'industrie nucléaire dont l'expansion avait été trop rapide et la réglementation qui a retardé la construction et fait grimper les coûts. L'engorgement a été le principal problème jusqu'en 1970 menant, après 1967, à une hausse annuelle de 30 % des coûts de main-d'œuvre et à une diminution de la productivité. Les coûts se sont accrus à un taux plus élevé que celui de l'inflation qui vers la fin des années 60, se maintenait à un niveau modeste.

Les très nombreuses commandes de réacteurs nucléaires passées par les entreprises de services publics résultent d'un choix délibéré. La demande d'électricité croissait de 7 % par année. Pour les entreprises de services publics, les reacteurs nucléaires étaient simplement un moyen de diversifier leurs sources de production d'électricité en pleine croissance. Étant assujetties à la réglementation, les entreprises de services publics étaient donc prédisposées à accepter des coûts en capital élevés, encouragées par un système dans lequel les hausses de tarifs étaient inévitablement consenties en fonction de l'augmentation de l'assiette des tarifs. Les centrales thermiques à charbon ou au mazout ont continué de se multiplier, mais les entreprises de services publics se sont gardé une porte de sortie advenant le cas où les espoirs engendrés par l'énergie nucléaire devenaient réalité. Parallèlement, de nouvelles lois régissant l'exploitation minière et la protection de l'environnement menaçaient de faire grimper le coût du charbon, ce qui s'est effectivement produit en 1969, bien avant les hausses de prix décrétées par l'OPEP. En outre, le gouvernement américain protégeait son industrie pétrolière, ce qui doublait le prix intérieur du pétrole par rapport au prix extérieur.

Tableau 4-4

Pertes estimées enregistrées pour des projets clés en main de réacteurs nucléaires[1]

En millions de dollars

	Coûts déclarés	Coûts estimés	Pertes estimées
General Electric			
Oyster Creek	91	170	79
Dresden 2, 3	230	413	183
Millstone	97	182	85
Quad Cities 1, 2	250	448	198
Monticello	105	168	63
Total partiel	773	1 381	608
Westinghouse			
San Onofre	97	131	34
Ginna	83	161	78
Robinson	78	179	101
Point Beach 1, 2	128	329	201
Connecticut Yankee	92	149	57
Total partiel	478	949	471
Total	1 251	2 330	1 079

1 Rapport de l'Atomic Energy Commission, n° 1345 WASH., octobre 1974, intitulé *Power Plant Capital Costs* et cité dans Montgomery et Quirk, 1976.

SOURCE Montgomery et Quirk (1976).

Tableau 4-5

Coûts en capital de réacteurs nucléaires mis en exploitation aux États-Unis, 1968-1974

		FPC[1]			AEC[2]		
			Coûts en capital			Coûts en capital	
		MW(e)	Total (en millions $)	Par kilowatt (en dollars)	MW(e)	Total (en millions $)	Par kilowatt (en dollars)
Moyenne annuelle :							
1968							
CM	Connecticut Yankee	600	91,8	153	575	95,0	165
CM	San Onofre	450	80,9	180	430	98,0	228
Moyenne		525		164	503		192
1969							
NCM	Nine-Mile Point	620	162,2	262	610	151,0	247
CM	Oyster Creek	550	89,9	163	530	83,0	157
Moyenne		585		215	570		205
1970							
CM	Dresden 2	810	92,3	114	809	94,0	116
CM	Ginna	517	83,2	161	420	65,0	155
CM	Millstone	662	96,8	146	652[3]	92,0[3]	141[3]
CM	Point Beach 1	524	74,0	141	497	61,0	123
Moyenne		628		138	575[3]		127
1971							
CM	Dresden 3	810	103,8	128	809	100,0	124
CM	Robinson 2	769	77,8	101	700	76,0	109
CM	Monticello	569	105,0	185	545	89,0	163
NCM	Palisades	812	146,7	181	700	118,0	169
Moyenne		740		146	681[3]		139[3]
1972							
CM	Point Beach 2	524	71,4	136	497	54,0	122
NCM	Vermont Yankee	514	172,0	335	514	154,0	300
NCM	Pilgrim	655	231,5	353	644	120,0	186
NCM	Surry 1	847	146,7	173	788	251,0	319
NCM	Turkey Point 3	760	108,7	143	693	119,9	159
CM	Quad Cities 1, 2	1 657	200,1	121	1 600	250,0	156
Moyenne		708		188	693		217
1973							
NCM	Surry 2	848	250,2	295	788	149,0	189
NCM	Turkey Point 4	760	122,5	161	693	106,0	153
NCM	Zion 1	1 089	276,0	251	1 050	262,0	249
NCM	Maine Yankee	830	219,2	264	790[3]	263,0[3]	333[3]
NCM	Prairie Island 1	593	233,2	393	530	200,0	377

Tableau 4-5 (fin)

		FPC[1]			AEC[2]		
			Coûts en capital			Coûts en capital	
		MW(e)	Total (en millions $)	Par kilowatt (en dollars)	MW(e)	Total (en millions $)	Par kilowatt (en dollars)
NCM	Fort Calhoun	481	173,9	361	457	175,0	383
NCM	Oconee 1	887	155,6	176	886	163,0	184
CM/NCM	Indian Point 2	1 013	206,1	203	873	212,0	242
Moyenne		814		251	753		240
1974							
NCM	Arkansas Nuclear 1	902	233,0	258	850	239,0	281
NCM	Arnold	566	202,2	357	535[3]	277,0[3]	518[3]
NCM	Zion 2	1 098	289,9	264	1 050[3]	271,0[3]	258[3]
NCM	Prairie Island 2	593	172,2	290	530	200,0	377
NCM	Cooper	835	246,3	295	778	296,0	380
NCM	Peach Bottom 2	1 152	628,5	546	1 065	537,0	504
NCM	Three-Mile Island	871	398,3	457	819	406,0	496
NCM	Oconee 2	887	320,8	361	817	160,0	184
NCM	Kewaunee	535	202,2	378	541	201,0	372
NCM	Peach Bottom 3	..[4]	..[4]		1 065	226,0	212
NCM	Oconee 3	..[4]	..[4]		871	166,0	191
Moyenne		827		362	821		329

NOTE CM : clés en main; NCM : non clés en main.
1 FPC : Federal Power Commission.
2 AEC : Atomic Energy Commission.
3 Millstone est considéré par l'AEC comme un réacteur entré en service en 1971 et les données qui s'y rapportent sont comprises dans les moyennes de 1971; Zion 2 et Arnold sont considérés comme des réacteurs entrés en service en 1975; et Main Yankee est un réacteur entré en service en 1972 et les données qui s'y rapportent sont comprises dans les moyennes de 1972.
4 La FPC n'a fourni aucune donnée pour 1974.
SOURCE Montgomery et Quirk (1976).

Le fléchissement de la demande de réacteurs nucléaires

Ainsi, sans grande expérience dans l'exploitation des centrales nucléaires, les entreprises américaines de services publics ont continué à passer de nombreuses commandes jusqu'en 1974. La crise provoquée par l'OPEP en 1973 a semblé stimuler la demande, mais cela fut de courte durée. En 1974, les 46 réacteurs commandés avant 1966 étaient en exploitation, ce qui portait la capacité installée à 28 351 MW. Les résultats enregistrés étaient bien inférieurs à ceux qui avaient été prévus. Les coûts en capital des centrales nucléaires étaient environ le triple de ceux qui avaient été projetés, ou au moins le double, après avoir tenu compte de l'inflation. En outre, le niveau d'exploitation réel des centrales était nettement inférieur au taux d'utilisation de 88 % qui avait été projeté, les prix de l'uranium étaient montés en flèche et les coûts d'entretien des centrales nucléaires étaient plus élevés que ceux encourus par les centrales thermiques alimentées au charbon et de taille comparable. La combinaison de tous ces facteurs a porté le coût de l'électricité produite par cette génération de réacteurs nucléaires américains à environ 10 à 12 cents/kWh, en dollars de 1982 (Flavin, 1984*b*, p. 192). Ce coût dépasse de 65 % celui de l'électricité produite par une centrale thermique alimentée au charbon, mais le fondement de cette conclusion n'est pas fourni. De plus, la demande de réacteurs nucléaires s'est presque évaporée lorsqu'il est devenu évident que la demande d'électricité ne croissait plus au rythme enregistré avant 1973. À compter de 1975, les annulations ont donc dépassé les commandes de réacteurs nucléaires. La situation lamentable dans laquelle se débattent présentement les entreprises de services publics qui tentent d'achever les centrales commandées avant 1975, compte tenu des taux d'intérêt élevés actuellement en vigueur, est assez bien connue. Inutile de nous y attarder davantage.

Les répercussions à l'étranger du programme d'énergie nucléaire des États-Unis

À l'extérieur des États-Unis, les prix du pétrole, tant nominaux que réels, ont continué de fléchir jusqu'en 1970. En Europe, on se préoccupait davantage de protéger les marchés du charbon que d'empêcher le remplacement de ce combustible par l'énergie nucléaire. Les projets d'énergie nucléaire sont donc plutôt restés des activités expérimentales subventionnées par le gouvernement qui cherchait à réaliser d'abord des percées scientifiques, le prestige national venant en second lieu. Seulement par inadvertance avait-on tenu compte des considérations économiques courantes.

En 1970, l'étroite collaboration entre les entreprises de services publics et les fabricants de réacteurs nucléaires, bien qu'essentiellement fondée sur des espoirs, avait des retentissements à l'étranger. Pour profiter de l'intérêt suscité, GE et Westinghouse ont établi des filiales à l'étranger et accordé des licences à des producteurs étrangers. Toutefois, le programme nucléaire français est celui qui a eu la plus grande incidence sur les marchés mondiaux. La Grande-Bretagne a mis sur pied son propre programme, par anticipation judicieuse des imperfections du programme américain, ce qui n'a pas empêché le programme britannique d'échouer. L'Allemagne a mis au point ses propres réacteurs à eau légère qui se révèlent parmi les plus fiables du monde.

Les résultats obtenus dans ces trois pays sont utiles à l'évaluation du programme canadien. Burns (1980) a comparé le programme britannique à celui des États-Unis et a conclu que l'échec du premier et la réussite du second étaient attribuables aux différents rôles joués par les entreprises publiques et privées. Bupp et Derian (1978) n'en sont pas arrivés à la même conclusion; à leur avis, le programme américain est l'échec le plus complet. En revanche, le programme français prétend-t-on, est bien organisé et jugé un succès. Cette conclusion découle des prévisions de membres de l'industrie nucléaire qui croient que la combinaison du pouvoir central et de l'optimisme face à la technologie permet de surmonter tout obstacle. En réalité, il est trop tôt pour qualifier de succès le programme français, même s'il y a eu flambée des prix du pétrole depuis que la France s'est engagée dans la réalisation de son programme nucléaire.

Le programme nucléaire français : une réussite ou un échec

La baisse de la consommation d'électricité étant un phénomène mondial, le programme nucléaire français se trouve également en difficulté. La France espérait réduire les coûts par l'adoption d'un modèle unique de réacteur et par l'anticipation des commandes intérieures. L'industrie nucléaire française était prête à produire six réacteurs par année. À l'heure actuelle, toutefois, la demande de nouveaux réacteurs est nulle. Pour que le programme se poursuive, un réacteur a été commandé en 1984 et un autre en 1985, mais ni l'un ni l'autre n'est nécessaire. De plus, le rendement des réacteurs ne répond pas aux attentes. Le programme français incorpore une rigidité qui peut en annuler les avantages. Électricité de France (EDF) a déjà commencé à fermer des centrales thermiques modernes à charbon et à subventionner la consommation d'électricité. Parmi tous les types possibles, la France n'a retenu que le réacteur à eau légère sous pression et ce choix ne résulte pas d'une évaluation rationnelle fondée sur des analyses. Il résulte plutôt d'un différend très absurde entre organismes. Électricité de France a eu gain de cause parce que son président du conseil et son influent président directeur général étaient prêts à démissionner, advenant l'échec de leur démarche. Électricité de France a donc réussi à vaincre la CEA, un organisme public semblable à l'EACL. Une situation comparable aurait pu surgir au Canada si Hydro-Ontario avait décidé d'utiliser un réacteur à eau légère. En 1974, après les fortes hausses du pétrole décrétées par l'OPEP, le programme s'est intensifié et Framatome, une filiale de Creusot-Loire et opérant sous licence Westinghouse, a été choisie pour désservir en exclusivité le marché français (voir Vernon, ed., 1974, p. 104).

La décision de la France a beaucoup favorisé la technologie des réacteurs à eau légère sous pression. En 1977, il semble que General Electric ait décidé de diminuer l'effort de commercialisation des réacteurs à eau légère bouillante. Framatome, le producteur français, semblait capable de réduire les coûts de production par la standardisation des réacteurs et de vendre ces mêmes unités au meilleur prix.

Les responsables du programme français ont réussi à élaborer une solide stratégie commerciale et ils semblent décidés à la poursuivre, quelle que soit la ligne de conduite adoptée par leurs concurrents. Ils ont atteint un degré de concertation inégalé par les autres pays concurrents. En France, les recherches scientifiques sont centrées sur le réacteur surrégénérateur, technologie qui, selon eux, remplacera en grande partie celle des réacteurs à eau légère dans les 20 ou 30 prochaines années. Dans l'intervalle, les ingénieurs s'appliquent à réduire le coût de production d'une génération de réacteurs à eau légère, au rythme d'environ six par année. Selon les données fournies, le coût d'un réacteur à eau légère de conception française

serait d'environ 1 000 $/kW, sans tenir compte des frais d'intérêts enregistrés durant la période de construction. On estime que ce coût est de 30 % inférieur au coût en capital d'un réacteur CANDU.

La stratégie canadienne de commercialisation du CANDU

La technologie nucléaire a rapidement évolué du stade de la mise au point à ceux de la démonstration et de la diffusion. Le tableau 4-6 (DeLeon, 1980, p. 299) montre l'importance de savoir choisir le bon moment. Les États-Unis avaient sept années d'avance sur le reste du monde au stade de la démonstration, et environ quatre années au stade de la commercialisation et de la diffusion de la technologie. Toutefois, il faut compter entre six et 10 années pour construire un réacteur nucléaire et quelques années encore pour acquérir de l'expérience en exploitation. L'avance des États-Unis est donc relativement courte, compte tenu de la durée de construction d'un réacteur.

Bien que le programme nucléaire canadien ait progressé rapidement, trop pour certains, il a néanmoins raté l'occasion de bénéficier de l'avalanche de commandes passées aux États-Unis de 1966 à 1974. Le hasard a voulu que la centrale de Pickering n'a pas été terminée assez rapidement pour que la technologie CANDU tire parti de la forte demande suscitée en 1973 et en 1974 par la crise provoquée par l'OPEP. Lorsque l'excellent rendement de la centrale de Pickering en a fait la réputation, la demande croissante d'électricité avait disparu et, avec elle, la majeure partie du marché des réacteurs nucléaires.

Le peu d'importance accordée à la commercialisation à l'étranger

L'auteur est d'avis qu'avant 1975, l'EACL n'a pas reconnu l'importance des marchés étrangers pour le développement du CANDU. Durant les années 60 et 70, les projections de la demande d'électricité en Ontario

Tableau 4-6

Comparaison de l'évolution chronologique de la technologie nucléaire dans différents pays (mise au point, démonstration et diffusion)

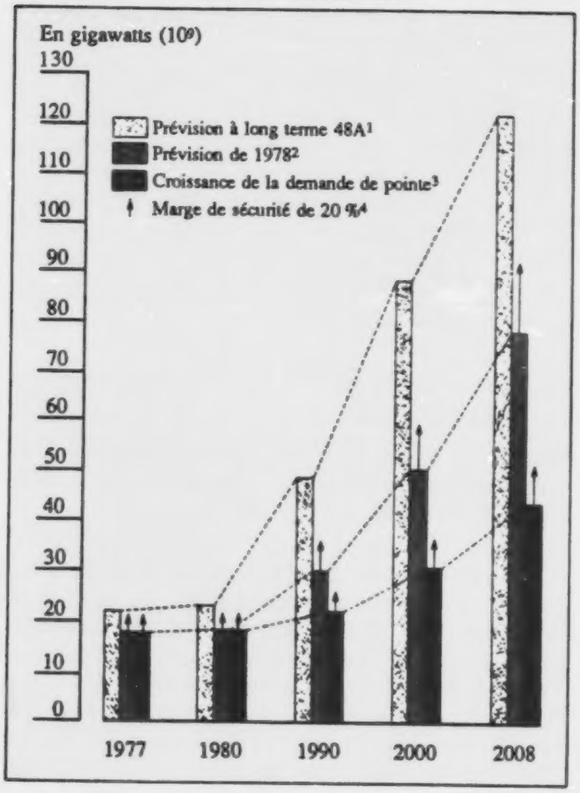
		Mise au point	Démonstration	Diffusion
États-Unis				
PWR	1947	Shippingport (1951)	Yankee-Rowe (1961)	Yankee-Haddam(1968)
BWR	1947	Vallecitos (1967)	Dresden (1960)	Oyster Creek (1969)
Allemagne de l'Ouest				
PWR	1955		Obrigheim (1969)	Stade (1972)
BWR	1955	Kahl (1962)	Grundremmingen (1966)	Wurgassen (1972)
URSS				
LWGR	1949	Obinsk (1954)	Beloyarsk 1-2 (1954-1967)	Beloyarsk 3-4 (1971-1972)
PWR	1949	« Lenin » (1956)	Novovoronezh 1-2 (1954-1969)	Novovoronezh 3-4 (1971-1972)
BWR	1949	Melekess (1962)		
Canada				
HWR	1945	NPD (1962)	Douglas Point (1967)	Pickering 1-4 (1971-1973)
France				
GGR	1949	Marcoule G2, G3 (1959-1960)	Chinan 2-3 (1965-1967)	Saint-Laurent 1-2 (1969-1971)
PWR			Chooz (1967)	Fessenheim 1-2 (1976)
Angleterre				
GGR	1946	Calder Hall (1956)	Magnox Reactor (1962-1971)	1965
AGR		Windscale (1963)	Dungeness B (1976) 1974	
SGHWR		Winfreth (1967)	1978	

NOTE PWR – (Pressurized-Water Reactor) Réacteur à eau sous pression.
BWR – (Boiling-Water Reactor) Réacteur à eau bouillante.
LWGR – (Light-Water Graphite Reactor) Réacteur à eau légère et au graphite.
HWR – (Heavy Water Reactor) Réacteur à eau lourde.
SGHWR – (Steam-Generating HWR) Réacteur à eau lourde générateur de vapeur.
GGR – (Gas Graphite Reactor) Réacteur graphite-gaz.
AGR – (Advanced Gas Reactor) Réacteur graphite-gaz avancé.
SOURCE DeLeon (1980), p. 299.

laissaient présager à elles seules un brillant avenir, advenant un succès remporté par la mise au point de la technologie CANDU (graphique 4-1).

Graphique 4-1

Scénarios de la capacité et de la demande de pointe du réseau de l'est de l'Ontario



1 Hydro-Ontario, prévision à long terme 48A, capacité installée de production d'électricité en 1975.
2 Hydro-Ontario, prévision de la demande de pointe, 1978.
3 Hydro-Ontario, prévision de 1980 d'une croissance de la demande de 3,4 % par année.
4 À titre d'exemple, les données sur la demande de pointe ont été majorées de 20 % pour dégager la capacité installée (voir les données de 1977).

SOURCE Données adaptées du rapport intérimaire de la Royal Commission on Electrical Power Planning, *A Race against Time*, Toronto, 1978, p. 32; voir aussi C. A. Hooker et coll. (1981), p. 55.

Pas plus tard qu'en octobre 1975, Hydro-Ontario a annoncé qu'elle comptait dépenser 19 milliards de dollars, principalement pour accroître le nombre des installations nucléaires et ce, sur une période de 10 ans. Dans ses prévisions à long terme (48A), l'entreprise comptait installer une capacité de 29 000 MW entre 1990 et 2000, et 39 000 MW de plus jusqu'en l'an 2008. Ainsi, l'Ontario fournirait à elle seule environ 80 000 MW d'électricité supplémentaire sur 30 ans, ce qui correspond en moyenne à environ 2,7 GW par année ou l'équivalent de quatre centrales et demie de 600 MW par année.

Ces projets correspondent presque à la limite de la capacité actuelle de l'industrie nucléaire canadienne (voir le tableau 4-7). Si la demande d'électricité prévue au Québec à l'époque était ajoutée aux prévisions de l'Ontario, il aurait fallu que l'industrie canadienne connaisse une expansion encore plus grande. Sans faire une seule vente à l'étranger, l'industrie nucléaire canadienne semblait destinée à traverser une longue période de croissance soutenue, quoique modérée. Une fois la phase d'expansion terminée, en 2008, il serait alors nécessaire de démanteler et de remplacer les vieux réacteurs. Les optimistes estimaient que le réacteur CANDU serait plus durable que les réacteurs à eau légère parce qu'il peut, comme les réacteurs surrégénérateurs, être adapté au plutonium récupéré d'autres réacteurs ou encore au thorium plutôt que l'uranium. Si la technologie des réacteurs surrégénérateurs achoppait ou si le prix de l'uranium demeurait abordable, une version améliorée du réacteur CANDU connaîtrait une prospérité qui s'étalerait sur une longue période.

Les projections précédentes de la demande canadienne de réacteurs nucléaires remontent à 1975. En 1974, l'EACL prévoyait que la demande canadienne s'élèverait à 130 GW en l'an 2000 (Lortie et Schweitzer, 1981, p. 38). D'après ces prévisions, il faudrait que l'industrie produise neuf réacteurs de 600 MW par année pour répondre uniquement à la demande canadienne. L'écart entre les prévisions de 1974 et celles de 1975 découle d'une baisse du taux de croissance de la demande d'électricité qui est tombé de plus de 7 % par année à un peu plus de 5 % environ. La baisse réelle a été beaucoup plus marquée, mais il persistait un doute sur le temps pendant lequel le taux de croissance resterait inférieur à celui qui avait été observé pendant les deux dernières décennies. En 1979, l'EACL prévoyait que la demande canadienne jusqu'en l'an 2000 se situerait entre 25 et 65 GW. À l'heure actuelle, il est presque certain que l'Ontario n'augmentera pas la capacité au-delà de celle des centrales de Bruce et de Darlington, à moins d'une flambée des prix du charbon. Ainsi, il est probable que les plus basses projections de 1979 ne seront pas dépassées au Canada, à moins que la demande d'électricité au Québec ne s'accroisse et que le potentiel de développement hydroélectrique encore existant ne devienne trop coûteux.

Tableau 4-7

Estimation de l'utilisation de la capacité de production de réacteurs nucléaires dans le monde durant les années 80

	Capacité de fabrication et d'installation de réacteurs	Estimation des commandes probables durant les années 80	Part de la capacité vraisemblablement occupée par la demande[1]
	(En GW par année)		(En pourcentage)
Canada	3	0,5–1,0	16–33
France	7	3–4	43–57
Allemagne de l'Ouest	6–8	1–2	12–33
Japon	6	3–4	50–57
Suède	1–2	0–0,5	0–50
Grande-Bretagne	1–2	0,5–1,5	50–100
États-Unis	25–30	2–7	7–28
Marchés d'exploitation	–	4–6	8–20[2]
Total	49–58	14–25	24–51

1 La part de la capacité totale de construction de réacteurs utilisée dans le cadre de programmes de construction de réacteurs dans le pays.
2 Pourcentage de la capacité qui reste inutilisée après que les commandes ont été remplies.
SOURCE Lortie et Schweitzer (1981).

En 1974, l'EACL s'attendait à ce que la demande mondiale atteigne 40 000 GW en l'an 2000, prévision qui a été rabaissée à 1 543 GW en 1977. Si la technologie CANDU avait attiré seulement 5 % du marché mondial après 1974, l'EACL aurait pu s'attendre à vendre plus de 130 réacteurs de 600 MW par année durant 25 ans. En 1977, ces 5 % du marché mondial ne se résumaient plus qu'à la vente de cinq réacteurs par année (voir le tableau 4-8 pour la répartition du marché).

Présentement, la vente de cinq réacteurs par année garantirait la survie du programme CANDU, mais les projections de 1979 se sont révélées beaucoup trop optimistes. Dans une revue de l'industrie nucléaire publiée en 1982, le ministère de l'Énergie, des mines et des ressources (EMR) a clairement laissé entendre qu'au cours de la prochaine décennie, il ne fallait pas s'attendre à aucune nouvelle commande de réacteur CANDU, tant de l'intérieur que de l'étranger. Toutefois, au moment où ces lignes sont écrites, il est possible que le Canada vende un réacteur à la Turquie, les négociations à ce sujet étant déjà très avancées.

En 1980, l'industrie canadienne pouvait produire des réacteurs nucléaires ayant une capacité totale établie de 3 GW par année, soit presque 5 % de la capacité mondiale, soit l'équivalent de la part canadienne du marché mondial. Aux États-Unis, en revanche, la capacité installée est d'environ 25 GW, mais les perspectives de ventes sont aussi sombres que celles du réacteur CANDU (Lortie et Schweitzer, 1981, p. 140).

De nos jours, il est difficile de concevoir qu'au début des années 70, le risque associé à la mise au point de la technologie CANDU dépendait de la réussite technique plutôt que de la commercialisation. Si la Tennessee Valley Authority (TVA) pouvait prétendre qu'il coûte moins cher de produire de l'électricité au moyen d'une centrale nucléaire qu'au moyen d'une centrale thermique à charbon et ce, même dans les régions productrices de charbon, une telle assertion n'était-elle pas d'autant plus vraie en Ontario qui importe presque tout le charbon consommé des États-Unis ? Il ne s'agissait pas non plus d'une affirmation sans fondement puisque le TVA l'a renforcée en commandant deux immenses réacteurs à eau légère. À l'avantage de l'EACL, le marché mondial avait été créé suite aux efforts de commercialisation déployés par les États-Unis et l'existence d'un petit créneau pour le réacteur CANDU était plus que suffisante pour justifier les travaux de R-D au Canada. La coentreprise avec Hydro-Ontario garantissait au CANDU son plus important marché; toutes les autres ventes étaient considérées comme un apport supplémentaire.

Les considérations précédentes expliquent certainement pourquoi la stratégie de l'EACL s'est résumée à laisser le

marché mondial à la Générale Électrique du Canada (GEC) jusqu'en 1968. À la fin des années 60, la seule préoccupation de l'industrie canadienne était de construire la centrale de Pickering et d'en démontrer les possibilités. La construction de ces deux réacteurs de 500 MW commandés en 1964, peu de temps après que GE eut annoncé la construction de la centrale à Oyster Creek, se déroulait à une époque où l'information sur les coûts de construction et d'exploitation de réacteurs à eau légère était aussi rare que celle qui se rapportait aux réacteurs à eau lourde (DeLeon, 1980, p. 171).

Il était impossible de prévoir que la vague de commandes passées par les entreprises de services publics américaines entre 1966 et 1974 allait marquer l'étape finale du marché. Ces commandes ont été faites sans en connaître plus sur les coûts de capital et d'exploitation des réacteurs à eau légère que sur ceux du réacteur CANDU. Il semblait que les possibilités de ventes resteraient énormes tant que les coûts de la technologie CANDU seraient comparables à ceux des réacteurs à eau légère.

Au cours des années 60, la stratégie de l'EACL consistait donc à centrer ses ressources et ses efforts sur l'achèvement de la centrale de Pickering et à établir la réputation de la filière CANDU. Il n'y avait pas lieu de prévoir longtemps d'avance en tentant d'acquérir une solide réputation sur le marché international; le marché était jugé peu important et ne prendrait pas d'expansion avant les années 70, au moment où les prix du pétrole devaient cesser de fléchir et ceux du charbon et du pétrole devaient commencer à croître.

L'incapacité de conquérir un marché américain en plein essor

Pourquoi l'industrie nucléaire canadienne n'a-t-elle pas profité de la forte demande aux États-Unis de 1967 à 1974 ? L'auteur n'a trouvé aucun document remontant à cette époque et dans lequel on aurait encouragé l'EACL à établir une clientèle parmi les entreprises de services publics américaines. L'EACL avait décidé de limiter ses

Tableau 4-8

Part du marché des réacteurs nucléaires, selon l'entreprise, 1980

	Canada	À l'étranger[1]	Total	Réacteurs à l'étranger en proportion du nombre total de réacteurs
				(En pourcentage)
Nombre de réacteurs en exploitation				
Westinghouse	26	13	39	33
Framatome	12	1	13	8
General Electric	25	14	39	36
KWU	7	3	10	30
Combustion Eng.	7	–	7	–
Babcock & Wilcox	9	–	9	–
Canada	10	2	12	17
Nombre de réacteurs en construction ou commandés				
Westinghouse	33	33	66	50
Framatome	39	8	47	17
General Electric	26	17	43	39
KWU	12	7	19	36
Combustion Eng.	8	–	8	–
Babcock & Wilcox	7	–	7	–
Canada	13	3	16	19

1 Comprend les coentreprises.
SOURCE Lortie et Schweitzer (1981).

efforts au marché intérieur et de chercher à vendre à l'occasion dans des pays du Tiers Monde. Entre 1968 et 1972, l'EACL a présenté, au coût d'un million de dollars chacune, des soumissions à la Roumanie, au Mexique, à l'Australie et à la Grèce (EMR, 1981*b*, p. 284). Si justifications de l'échec de l'industrie canadienne sur le plan de la commercialisation sont nombreuses, il semble néanmoins évident que, durant les années 60, la position du Canada a été affaiblie non pas par le manque d'expérience en commercialisation, sur lequel on a tant insisté, mais par deux facteurs d'importance capitale : l'incertitude au sujet du coût de production de l'eau lourde et la lenteur à mettre en service le réacteur de démonstration à Douglas Point.

Le rôle de l'eau lourde dans l'échec commercial du CANDU

Au cours des années 60, l'eau lourde se vendait environ 30 dollars la livre. Puisque le réacteur CANDU consomme environ une tonne métrique par MW d'électricité produite, le coût de la charge initiale d'un réacteur de 600 MW s'élevait donc à 40,3 millions de dollars ou environ 67 $/kW. Étant donné que les fabricants américains de réacteurs à eau légère prétendaient à l'époque que les coûts en capital se situaient entre 125 $ et 130 $/kW, la charge initiale d'eau lourde représentait à elle seule la moitié du coût d'un réacteur à eau légère. Le numéro de juin 1966 de *Nuclear Engineering International* portait uniquement sur la question de l'eau lourde. De toute évidence, les problèmes rattachés à la production d'eau lourde n'ont pas échappé à l'industrie. Ces difficultés n'ont pas été rapidement surmontées puisque les prix de l'eau lourde se sont élevés jusqu'à 50 $ en 1975 (DeLeon, 1980, p. 169).

L'industrie canadienne prévoyait que l'accroissement de l'échelle de production ferait tomber le prix de l'eau lourde à 14 $ la livre au milieu des années 70. À ce prix, la charge initiale d'eau lourde aurait été l'équivalent de 30,80 $/kW, soit environ 20 % du prix alors prévu pour un réacteur à eau légère. Compte tenu de l'importance capitale de l'eau lourde dans le programme canadien de développement de l'énergie nucléaire, l'attitude presque cavalière adoptée à l'égard des problèmes de production d'eau lourde a nui à la réputation du programme en général et à celle de l'EACL en particulier. La technologie de production de l'eau lourde ne semblait pas être un domaine d'activité aussi prestigieux que la mise au point d'un réacteur. Cette technologie a été laissée à d'autres qui étaient influencés par des considérations régionales et nationalistes. L'EACL semble n'avoir pas agi avec la circonspection normalement exigible face aux difficultés que pose l'adaptation à la production à grande échelle d'un réacteur conçu pour une petite centrale.

Le coût de l'eau lourde pour l'acheteur éventuel d'un réacteur CANDU était un facteur déterminant du succès de la technologie, non seulement parce qu'il contribuait à majorer le coût en capital initial, mais aussi parce que de nombreux intervenants de l'industrie nucléaire doutaient que la filière CANDU soit suffisamment étanche. S'il y avait fuite d'une quantité considérable d'eau lourde dans l'enveloppe étanche, il serait nécessaire d'ajouter de l'eau lourde pendant le fonctionnement. L'EACL a réglé le problème des fuites et maintenant, une fois la charge initiale effectuée, une très faible quantité d'eau lourde pourrait être requise. Au cours des années 60 et au début des années 70, toutefois, il y avait lieu de douter de l'étanchéité du réacteur CANDU.

La lenteur à mettre en service une centrale de démonstration

Le second facteur qui a nui à la commercialisation du réacteur CANDU au cours de la période de vente intensive fut la lenteur à mettre en service le réacteur de Douglas Point. C'est à ce chapitre que semblent ressortir les faiblesses de la prise en main d'une entreprise commerciale par un organisme de recherche. Par exemple, une des causes du retard a été la défectuosité d'un appareil de chargement du combustible conçu par l'EACL durant la construction du réacteur de Douglas Point, dont le Canada voulait faire étalage mais qu'on a terminé en 1967, avec trois ans de retard. L'appareil de chargement du combustible est un dispositif critique qui permet de recharger le réacteur CANDU sans interrompre son fonctionnement. Les barres sont retirées et réintroduites pendant que le réacteur est en marche. Un cadre supérieur de la GEC, maintenant à la retraite, a expliqué à l'auteur que cette société avait réussi à mettre au point un appareil de chargement pour le réacteur de démonstration. L'EACL a décidé de modifier le « design » de l'appareil qui s'est avéré défectueux. Il a fallu deux ans de travail avec la collaboration de la GEC pour rendre le nouvel appareil opérationnel. Il ne s'agit sans doute pas de la seule raison pour laquelle la mise en service du réacteur de Douglas Point ait été retardée de trois ans. Néanmoins, la combinaison d'une gestion de projet qui laisse à désirer et le désir de tenter des expériences a certainement contribué à ralentir le projet. Certes, la décision d'exclure la GEC de la conception et de la construction du réacteur de Douglas Point est discutable à divers points de vue. La technologie CANDU aurait vraisemblablement connu un très

grand succès sur les marchés mondiaux si le réacteur de Douglas Point avait été mis en service avec de bons résultats en 1964 et s'il avait été possible de s'approvisionner en eau lourde à un coût raisonnable. Il aurait donc fallu déployer tous les efforts possibles pour mettre le réacteur en service au moment opportun au lieu de risquer gros à le modifier durant l'étape de la construction.

Le rôle d'Hydro-Ontario

On reproche souvent à Hydro-Ontario d'avoir fait exclure la GEC de la conception et de la construction des plus gros réacteurs en Ontario. Hydro-Ontario se chargeait de l'exploitation courante d'une centrale et préférait que l'EACL en assure la conception. Certains prétendent qu'Hydro-Ontario voulait éviter de dépendre d'un seul fournisseur pour les centrales nucléaires ou même pour les composants d'un réacteur. Cependant, quelles qu'aient été les intentions d'Hydro-Ontario, l'EACL semble avoir agi sans tenir compte des conséquences de cette ligne de conduite sur le plan stratégique. L'EACL demeure donc une des rares entreprises du monde à vendre des réacteurs nucléaires sans être intégrée aux processus de fabrication touchant les principaux composants de sa filière. Pour certains, dont Secor Inc., il s'agit de la plus grande faiblesse du programme canadien de commercialisation.

Il est compréhensible que l'EACL se soit pliée aux préférences d'Hydro-Ontario puisque cette dernière était la seule entreprise de services publics qui acceptait de partager le financement de la mise au point du réacteur. En 1964, lorsqu'il a été décidé de construire la centrale de Pickering, Hydro-Ontario et le gouvernement de la province ont défrayé 40 % et 27 % des coûts, respectivement. Il était donc peu réaliste de s'attendre à ce que de vagues perspectives de ventes plus ou moins lointaines l'emportent sur l'aide financière initiale fournie par l'Ontario.

L'année 1964 a été l'apogée des projets clés en main à prix fixe aux États-Unis. Hydro-Ontario aurait pu acheter par contrat clés en main un réacteur à eau légère de conception américaine. La GEC était disposée à présenter une offre à prix fixe pour construire la centrale de Pickering, mais on l'a informée que son offre ne serait pas la bienvenue. Hydro-Ontario, en collaboration avec l'EACL et le gouvernement provincial, a choisi plutôt de courir le risque de mettre au point le réacteur CANDU.

L'Ontario préférait le réacteur CANDU parce que la plupart des composants seraient fabriqués dans la province. Le composant de base du réacteur à eau légère concurrent est la calandre en acier inoxydable qu'il aurait fallu importer au Canada. La technologie CANDU offrait donc à l'Ontario la possibilité d'accroître à la fois la fabrication sur place et la capacité de produire efficacement de l'électricité. Il aurait sans doute été possible de négocier la production au Canada de certains composants d'un réacteur à eau légère, mais il aurait fallu importer les principaux composants et les travaux d'ingénierie.

Résumé

Nous avons vu que durant l'importante période d'expansion de l'industrie nucléaire américaine, c'est-à-dire de 1966 à 1974, l'EACL était vouée à une stratégie de commercialisation axée sur le marché intérieur. Cette situation s'explique en partie par la dépendance financière de l'EACL à l'égard du gouvernement fédéral et sa préférence pour la recherche-développement, mais elle est surtout attribuable au marché de ses produits.

Sur ce plan, l'EACL a présumé que les pays industrialisés excluraient le Canada de leurs marchés. Cette présomption est certainement raisonnable, compte tenu de la protection à laquelle le Canada s'était heurté dans le secteur de la production classique de l'électricité (voir Burn et Epstein, 1972). À la même époque, les États-Unis, le Royaume-Uni, la France et l'Allemagne chacun de leur côté, dépensaient beaucoup plus que le Canada dans le domaine de la recherche appliquée, et il ne faillait pas s'attendre à ce qu'ils laissent entrer une technologie étrangère. Dans les pays du Tiers Monde, la consommation d'énergie était faible, l'électricité en constituait une part relativement minime et leurs réseaux de distribution n'étaient pas suffisamment développés pour qu'une centrale nucléaire complexe leur soit raccordée. De toute manière, la concurrence entre les pays industrialisés qui vendraient leurs produits au coût marginal serait telle que la vente aux pays du Tiers Monde permettrait, au mieux, d'atteindre le seuil de rentabilité. En effet, toutes les ventes du Canada ont fait l'objet de subventions à l'exportation et leur apport à la société canadienne est probablement négatif.

Si raisonnables qu'aient pu sembler ces hypothèses au sujet du marché, l'EACL peut néanmoins être critiquée pour ne pas avoir exploré à fond leurs limites. L'EACL et la GEC, en collaboration auraient pu s'efforcer à vendre des réacteurs aux États-Unis durant la vague d'achats de 1965 à 1974[1]. Compte tenu de la forte expansion de l'énergie nucléaire aux États-Unis, il aurait probablement été possible de surmonter les obstacles posés par la réglementation au début de la période, et cela, certainement avant 1970. Toutefois, pour réussir à vendre un

réacteur CANDU, il aurait fallu offrir à l'entreprise américaine de services publics un contrat clés en main à un prix comparable à celui des fabricants américains de réacteurs. Puisque les fabricants américains ont cessé d'offrir des contrats clés en main en 1967, il en a résulté une ouverture sur le marché américain qu'un effort énergique aurait pu rendre très profitable pour le Canada. La vente à une entreprise américaine de services publics d'un réacteur CANDU comme celui de la centrale de Pickering aurait permis à cette technologie d'acquérir une solide réputation à l'étranger et ce, durant une période critique où aucun type de réacteur n'avait acquis, dans son exploitation, une expérience majeure et déterminante. Un contrat de vente clés en main aux États-Unis aurait aussi montré que l'EACL était convaincue de pouvoir acquérir ou produire de l'eau lourde et, du même coup, aurait permis d'éliminer un important obstacle qui, jusque-là, barrait la route à toute tentative d'établir la réputation du réacteur CANDU à l'étranger.

L'EACL a plutôt dû assumer les conséquences de sa dépendance à l'égard d'un marché unique disparu de façon imprévisible. Avant 1975, le marché intérieur semblait assez vaste pour justifier les coûts imputables à la recherche appliquée associés au CANDU. Parce qu'elle a négligé de s'implanter sur le marché américain et n'a pas réussi à améliorer la réputation du réacteur CANDU durant la période critique, l'EACL a perdu tous ses atouts. Depuis, les producteurs allemands, français et américains de réacteurs à eau légère se sont si solidement établis sur les marchés internationaux qu'il est maintenant presque impossible pour le réacteur CANDU de regagner le terrain perdu.

L'industrie nucléaire est-elle nécessairement d'envergure mondiale ?

D'après M. Porter (1982), une industrie est d'« envergure mondiale » lorsque le marché intérieur d'une entreprise contribue à une importante amélioration de sa position commerciale sur les marchés étrangers. Suivant une définition plus rigoureuse, une industrie est d'envergure mondiale lorsqu'aucun producteur national ne peut soutenir, dans son pays, la concurrence des producteurs qui vendent à l'échelle mondiale. Selon cette dernière définition, l'industrie nucléaire n'était pas d'envergure mondiale avant 1975 et il n'est pas évident qu'elle ne le deviendrait jamais.

La courbe d'expérience

L'industrie avait grand espoir que la courbe d'expérience et les économies d'échelle produisent des avantages, mais il semblait que le marché mondial croîtrait plus rapidement que tout avantage économique que puisse en tirer un producteur dominant. Il n'est pas certain que l'apprentissage entraîne une diminution des coûts; les coûts réels ont augmenté avec le temps pour diverses raisons. Joskow et Rozanski (1979) ont constaté que la courbe d'expérience se vérifiait, mais que le passage d'un petit réacteur (500-600 MW) à un plus grand (1 200 MW) s'accompagnait d'une augmentation disproportionnée des coûts unitaires (voir aussi Zimmerman, 1982). D'après Joskow et Rozanski, l'expérience acquise par la production continue de réacteurs de 600 MW fait diminuer les coûts, comme le fait l'expérience dans la construction d'un réacteur de 1 200 MW, mais le transfert d'expérience acquise sur un réacteur de 600 MW s'effectue plus difficilement lorsque l'on s'attaque à la construction d'un réacteur plus puissant. La construction de réacteurs de plus grande taille a été plus problématique que prévu et l'expérience n'a pas contribué à réduire les coûts. Les problèmes de sécurité imprévus ont nécessité des modifications qui ont, à leur tour, fait croître les coûts en capital. Dans une étude qui a détruit la confiance de l'industrie, Komonoff (1977) a révélé que les coûts réels de construction aux États-Unis ont augmenté de 13,5 % par année de 1971 à 1978. Cela signifie que le coût d'une nouvelle centrale nucléaire construite aux États-Unis s'élevait à 2 000 $/kW, en dollars de 1982. Entre 1969 et 1982, les coûts en capital ont sextuplé en Allemagne, ce qui correspond environ au double du taux d'inflation. D'après DeLeon, les coûts de construction enregistrés par Hydro-Ontario ont atteint 1 700 $/kW, contre 400 $/kW en 1972, soit un taux de croissance *réel* de 6 % par année (d'autres données pour 1981 varient entre 1 070 $/kW et 1 350 $/kW). Ce taux de croissance n'est que la moitié de celui qu'a calculé Komonoff aux États-Unis, mais il traduit néanmoins un rendement médiocre. Les avantages attribuables aux courbes d'apprentissage et d'expérience que Joskow a pu dégager ont été dissipés par l'augmentation rapide des coûts dont le rythme de croissance dépasse nettement celui des coûts de construction d'une centrale thermique au charbon. Étant donné qu'une grande part des dépenses était attribuable à la construction de réacteurs pour un marché local et que cette activité est dépendante de la conjoncture locale, l'industrie nucléaire ne peut être jugée d'envergure mondiale en vertu des économies d'échelle possibles. Il est bon de chercher à produire à faible coût, mais il est peu probable que cet objectif soit atteint uniquement par l'expansion de la capacité.

La réputation et la crédibilité

En l'absence d'importantes économies d'échelle, d'une diminution rapide des coûts découlant de l'apprentissage

ou encore des avantages liés à l'acquisition des intrants, l'industrie nucléaire peut néanmoins être d'envergure mondiale. La réputation et la crédibilité peuvent être à caractère mondial lorsqu'il s'agit d'une industrie naissante. Au stade initial du cycle de production, les acheteurs font leurs premières armes et une première vente peut donner lieu à de nombreuses ventes subséquentes. La première vente est la plus difficile à réaliser. Tous les producteurs concurrents subissent une incitation comparable à réduire le prix pour s'attirer un acheteur et peut-être s'assurer de nouvelles commandes. L'industrie nucléaire peut aussi être qualifiée d'industrie mondiale pour une autre raison ayant un effet très déterminant sur le marché des biens d'équipement, à savoir la probabilité présumée d'obsolescence. Une stratégie à caractère mondial peut contribuer à dissiper la crainte d'un acheteur éventuel à cet effet. Un producteur ayant un petit marché peut se montrer incapable de rivaliser avec un plus grand producteur qui bénéficie d'un avantage psychologique.

La réussite mondiale incite un acheteur éventuel à croire que la technologie qu'il a choisie lui permettra de bénéficier des progrès futurs qui semblent découler inévitablement des nouvelles technologies. Par ailleurs, une fois que le choix est arrêté et que les perspectives s'avèrent peu prometteuses, changer de modèle pourrait devenir très coûteux en raison des coûts en formation déjà effectués et de l'infrastructure mise en place. Par exemple, un acheteur de réacteur à eau légère peut avoir construit des installations d'enrichissement, tandis que l'acheteur d'un réacteur à eau lourde peut avoir investi dans la production d'eau lourde. En outre, les différents types de réacteurs peuvent être assortis de problèmes particuliers de manutention du matériel ou d'élimination des déchets et les résultats de la recherche propre à un réacteur peuvent ne pas être applicables à un autre type de réacteur.

L'industrie nucléaire semble donc être, par nature, partiellement mais non exclusivement une activité d'envergure mondiale. Le petit producteur ne se trouve pas nécessairement très désavantagé par ses coûts puisque la production reste en grande partie sur commande. Cependant, son accès aux marchés d'exportation pourrait s'améliorer de plus en plus. Ces prévisions optimistes pour le réacteur CANDU reposent toutefois sur l'expérience antérieure et sur un marché croissant; néanmoins, l'accroissement des dépenses de R-D d'autres producteurs menace de rendre la technologie CANDU désuète.

Les caractéristiques distinctives du réacteur CANDU

Le réacteur CANDU se distingue des autres types par les caractéristiques suivantes :

- chargement du combustible sans interrompre le fonctionnement du réacteur, ce qui suppose, en théorie, une grande marge de disponibilité;
- aucune nécessité d'enrichir le combustible;
- l'eau lourde sert de modérateur et de caloporteur;
- absence de cuve sous pression, ce qui facilite la fabrication; et,
- avantage d'une sécurité naturelle offerte par le grand réservoir d'évacuation de l'eau lourde.

La technologie CANDU convenait au Canada parce qu'après la guerre, les États-Unis avaient le monopole des installations d'enrichissement de l'uranium. L'utilisation de l'eau lourde permettait de contourner le problème d'accès aux installations d'enrichissement et, ainsi, de devenir concurrentiel. En outre, cette technologie éliminait le besoin de construire une grande cuve sous pression, ce que l'industrie canadienne n'était pas et n'est pas encore préparée à faire. La conception initiale du réacteur de démonstration (NPD) prévoyait une cuve sous pression qui avait été commandée d'un fabricant du Royaume-Uni, mais n'a jamais servi parce qu'elle a été rendue inutile par une modification au réacteur permettant d'utiliser plutôt des tubes.

Toutes ces caractéristiques jugées encore récemment avantageuses ont perdu leur importance. Les États-Unis n'ont plus le monopole des installations d'enrichissement. Le succès commercial des réacteurs à eau légère a entraîné, comme on pouvait s'y attendre, la mise au point de nouvelles techniques d'enrichissement. La recherche sur l'eau lourde se poursuit mais, à l'extérieur du Canada, la mise au point de nouvelles applications ne suscite aucun intérêt. La réussite commerciale de la technologie CANDU à l'échelle mondiale aurait pu procurer d'importants avantages indirects découlant de la R-D destinée à réduire le coût de production de l'eau lourde. L'occasion s'est depuis envolée. Le prix actuel de l'eau lourde varie entre 95 $ et 150 $ la livre, un montant nettement supérieur à celui de 14 $ qui avait été prévu durant les années 60, même si l'on tient compte de l'inflation.

Il se peut que les petits pays soient encore intéressés à acheter des réacteurs dont l'exploitation ne nécessite pas l'accès à des installations d'enrichissement. Ce facteur revêt une dimension politique et n'a peut-être pas beaucoup de poids lorsqu'il s'agit d'investissements considérables. Néanmoins, la technologie CANDU est avantagée dans les pays ayant des gisements d'uranium. Parce que le

réacteur CANDU ne fait pas appel à l'enrichissement et n'a pas besoin d'une calandre difficile à fabriquer, même les pays les moins industrialisés pourraient presque devenir autonomes dans la production et l'exploitation de réacteurs nucléaires. Par exemple, l'Inde a construit deux réacteurs de 200 MW de type CANDU après que le Canada a retiré son appui du programme nucléaire indien. Par ailleurs, cet avantage est annulé par le fait que l'acheteur dépend du fournisseur initial pour l'eau lourde. Rares sont les petits pays qui envisageraient d'investir dans leurs propres installations de production d'eau lourde s'ils n'appliquent pas à très grande échelle la technologie CANDU. Pour exploiter à presque pleine capacité une usine de production commerciale d'eau lourde (800 tonnes par année), il faudrait construire chaque année un nouveau réacteur de 850 MW. Les producteurs du réacteur CANDU prétendent que les coûts de production en électricité sur la vie utile du réacteur sont plus faibles que ceux des réacteurs à eau légère. Pour prétendre cela, ils s'appuient sur le fait que le réacteur CANDU consomme de l'uranium naturel dont le coût est plus faible et que sa capacité moyenne est plus élevée dû à son « design ». De ces deux avantages, seul le premier était un argument de vente, puisque, récemment encore, il n'existait presque aucune donnée sur l'exploitation de nombreux types de réacteurs. Cet argument n'est pas très convaincant parce que les meilleurs types de réacteurs à eau légère, notamment ceux de fabrication allemande, semblent rarement arrêtés. Les bons résultats de fonctionnement du réacteur CANDU sont attribuables en grande partie à l'excellente gestion de l'exploitation par Hydro-Ontario.

Bref, dans l'ensemble, le réacteur CANDU est différent d'un réacteur à eau légère et ce facteur semble offrir une lueur d'espoir en dépit de la prédominance de la technologie à eau légère. Toutefois, les avantages de la technologie CANDU ont perdu de l'importance, puisque l'accès aux installations d'enrichissement ne pose plus un problème, tandis que l'approvisionnement en eau lourde reste à toutes fins pratiques un monopole canadien. Ces facteurs sont des obstacles réels à la vente du CANDU à l'étranger. La stratégie de différenciation ne semble plus justifier l'optimisme à l'égard des perspectives commerciales du CANDU, même s'il y avait raffermissement du marché mondial de l'énergie nucléaire.

L'Ontario au premier plan

Les coûts d'implantation sur le marché américain

Durant la période critique de commercialisation des réacteurs nucléaires, l'EACL a mis l'accent sur le marché intérieur. Cette stratégie a probablement permis d'économiser, au mieux, 100 millions de dollars, soit le montant en dollars de 1965 qu'il aurait fallu débourser à l'époque pour s'implanter sur le marché américain. Une telle dépense aurait été nécessaire pour surmonter l'obstacle créé par la réglementation, puisque les premières ventes aux États-Unis auraient seulement pu être réalisées par voies de concessions. L'EACL était l'entreprise qui avait beaucoup à gagner si la technologie CANDU était acceptée sur le marché américain et sur les marchés mondiaux; c'est donc elle seule qui aurait dû être disposée à courir le risque lié à la commercialisation du CANDU aux États-Unis. Sur le marché canadien, cependant, le gouvernement de l'Ontario se montrait prêt à assumer la moitié des risques. Pour vendre un réacteur CANDU sur le marché américain pendant les années 60, il aurait fallu que l'EACL offre des contrats clés en main à un prix équivalent à celui de GE ou Westinghouse et garantisse l'approvisionnement en eau lourde sans frais ou à un prix fixe. Il aurait fallu également garantir à l'acheteur un approvisionnement continu en uranium, à prix fixe.

Pour déterminer l'investissement qui aurait été nécessaire, il serait utile d'examiner les sommes dépensées par GE et Westinghouse pour obtenir la prédominance sur le marché. Selon les données fournies, ces deux entreprises auraient perdu au total 1 079 millions de dollars dans la construction de 13 réacteurs en vertu de contrats clés en main. Le coût des deux centrales de Pickering étant de 220 millions de dollars canadiens ou 240 $/kW en dollars américains, les réacteurs canadiens auraient été beaucoup plus onéreux que les réacteurs construits par GE et Westinghouse en vertu de contrats clés en main. Prenons l'exemple de la centrale de Monticello qui a été mise en service en 1971, la même année que celle de Pickering, et dont la taille est comparable à une seule unité de Pickering. L'entreprise de services publics a déboursé 105 millions de dollars, mais GE a reconnu avoir perdu 63 millions de dollars dans la transition (voir le tableau 4-3). Le coût en capital s'élevait à environ 190 $/kW pour l'entreprise de services publics et de près de 305 $/kW pour GE. Si les coûts associés à la centrale de Pickering étaient convertis en coût d'implantation sur le marché américain, l'EACL aurait enregistré seulement un faible dépassement mais, au début, elle aurait été obligée d'assumer des risques élevés. La vente de deux réacteurs de 500 MW sur le marché américain et l'assurance d'un approvisionnement continu en eau lourde aurait représenté pour l'EACL un risque équivalent à un peu plus de 250 millions de dollars, même si les réacteurs n'avaient pas fonctionné. Cette somme n'est pas négligeable, mais GE et Westinghouse ont risqué 10 fois plus (voir le tableau 4-3). Selon des estimations plus

vraisemblables, l'EACL aurait risqué de perdre au plus 100 $/kW ou 100 millions de dollars.

Cette perte est importante, mais se compare aux sommes investies à l'époque dans l'énergie nucléaire. Au milieu des années 60, l'EACL dépensait en recherche près de 60 millions de dollars par année, de sorte que le risque couru pour s'implanter sur le marché américain aurait représenté l'investissement en recherche de presque deux années. Il aurait fallu que l'EACL risque une avance d'environ 37 millions de dollars par année pendant six ou sept ans pour construire deux réacteurs de 500 MW aux États-Unis. La question à savoir si ce financement supplémentaire aurait posé un problème pour l'EACL demeure encore en litige. Il s'agit évidemment d'un montant minime si l'on considère la taille du marché qui aurait été créé si les réacteurs avaient été une réussite. Lorsque les fabricants américains ont cessé d'offrir des contrats clés en main, l'EACL aurait été particulièrement avantagée par la construction d'une centrale aux États-Unis, eut-elle été disposée à courir le risque.

Les intérêts politiques de l'Ontario

Du point de vue d'Hydro-Ontario, l'avantage politique de contribuer à la réalisation des objectifs de la province éliminait d'emblée la possibilité même d'une mise à l'essai des réacteurs à eau légère. Même si le coût en capital d'un réacteur CANDU s'était révélé nettement supérieur au prix d'achat d'un réacteur à eau légère, à un taux d'intérêt nominal de 3 à 5 %, le coût d'exploitation d'un réacteur plus onéreux n'aurait pas été beaucoup plus élevé. L'écart de coût en capital aurait été atténué par le coût plus faible de chargement en combustible du réacteur CANDU qui ne fait pas appel à l'uranium enrichi. Les frais d'exploitation du réacteur CANDU sont inférieurs à ceux d'un réacteur à eau légère, même lorsque le rendement des deux correspond aux normes.

De toute évidence, la technologie CANDU offrait à l'Ontario d'importants avantages politiques, sinon économiques. Le charbon importé pouvait être remplacé par l'uranium local, tandis que la fabrication serait en grande partie effectuée dans la province. Hydro-Ontario ne s'intéressait pas à l'exportation. À l'époque, il était prématuré de songer à la normalisation pour réduire les coûts. Cette possibilité s'est manifestée seulement au début des années 70. Mais même si les ventes accrues avaient permis de réduire quelque peu les coûts, cette considération devenait très peu importante, compte tenu du faible taux d'intérêt qui prévalait alors et sur lequel Hydro-Ontario fondait ses décisions.

D'après Vernon, ed. (1974), Hydro-Ontario utilisait un taux d'intérêt nominal aussi faible que 3 % au milieu des années 60, tandis que Électricité de France fondait ses calculs sur un taux *réel* de 9 %. Les taux d'intérêt réels étant cinq fois plus élevés, l'entreprise française de services publics ne pouvait se permettre de négliger même de faibles écarts de coût en capital. Cette entreprise a donc rejeté l'éventualité d'un programme nucléaire jusqu'en 1971 pour ensuite choisir un réacteur à eau légère de conception américaine.

Pour l'EACL, le fait de miser ses efforts sur le marché ontarien représentait la voie la plus facile. Parce que l'Ontario utilisait un faible taux d'intérêt réel pour déterminer le coût en capital, la technologie nucléaire se révélait nettement supérieure à la production de l'électricité au charbon, et le faible écart qui pouvait exister entre les coûts associés aux réacteurs à eau légère et ceux du réacteur CANDU était jugé d'importance secondaire. L'adoption de la technologie CANDU offrait un avantage politique évident à l'Ontario, surtout que l'EACL continuerait de supporter la plus grande part des coûts de recherche appliquée.

Pour l'EACL, la solution de facilité n'a pas connu une fin heureuse. Pour avoir mis tous ses œufs dans le même panier, l'EACL a subi les conséquences réservées à toute entreprise qui poursuit une stratégie non diversifiée. Hydro-Ontario a influencé l'évolution du secteur de la production qui ne répondait qu'aux besoins d'une entreprise provinciale de services publics voulant exploiter des centrales construites selon ses exigences. La structure résultante du secteur de la production est donc mal adaptée à la concurrence internationale et à des efforts de vente à grande échelle. En ne s'empressant pas de se tailler un créneau solide sur les marchés internationaux, ce qui aurait été nécessaire sans la participation d'Hydro-Ontario, l'EACL a raté l'occasion de faire dominer la technologie CANDU sur les marchés mondiaux. L'EACL se retrouve donc dans une position moins enviable dans une partie hasardeuse où les enjeux sont énormes et les perspectives de gains minimes, voire inexistantes.

5 La stratégie de l'entreprise dans un marché en régression

Il est plus facile de pénétrer une nouvelle industrie que de prendre la décision de s'en retirer au moment indiqué et de la façon qui convient. Durant les années 60, l'engagement financier grandissant de l'État était certainement une position défendable, sinon opportune. Les dirigeants y voyaient l'énorme possibilité d'un rendement alléchant, allant même jusqu'à l'anticiper. Tout laissait indiquer que le marché international des réacteurs nucléaires devait connaître sous peu un essor fulgurant. Au milieu des années 60, l'accélération rapide des ventes de réacteurs aux États-Unis a donné l'impression que, même à cette époque, la production d'électricité par voie nucléaire était moins coûteuse que la production d'électricité par voie thermique. Même si le charbon demeurait la source d'énergie la moins coûteuse, il est certain que, à mesure que les fabricants et les exploitants de réacteurs nucléaires acquéraient de l'expérience et, par conséquent, élargiraient leurs connaissances, le charbon perdrait sa position dominante. Les coûts de la production d'électricité à l'énergie nucléaire continueraient à dégringoler, mais comme la production d'électricité par des centrales alimentées au charbon avait atteint le stade d'une technologie pleinement développée, la courbe d'apprentissage était à l'horizontale et le coût de la production devait se stabiliser. En effet, la législation relative à l'environnement adoptée aux États-Unis faisait peser sur l'industrie la menace d'une hausse sensible du coût du charbon avant la fin de la décennie. Par conséquent, les entreprises de services publics étaient pleinement justifiées de commander des centrales nucléaires, ne serait-ce que pour acquérir l'expérience nécessaire.

En dépit d'une grande concurrence, la Grande-Bretagne et la France semblaient marquer un temps d'arrêt dans la réalisation de leurs programmes nucléaires et l'Allemagne mettait beaucoup de temps à démarrer. Les producteurs américains semblaient se suffire amplement de leur marché intérieur, mais même leurs réacteurs nucléaires n'avaient pas encore été mis à l'épreuve. Aucun pays n'avait jusque-là construit un gros réacteur à eau légère ni avait fait la preuve de sa capacité à faire fonctionner une installation. Hydro-Ontario avait déjà choisi le réacteur CANDU de préférence à un réacteur à eau légère. Les dirigeants de cette société nous ont dit qu'à l'époque, ils avaient comparé les coûts et, à la suite de cet exercice, le choix s'est porté sur le réacteur CANDU. Aux yeux de l'EACL, le choix de Hydro-Ontario laissait présager une expansion du marché qui, en Ontario seulement, garantissait la prospérité d'une industrie orientée vers la construction de réacteurs nucléaires, dont la taille serait un gage d'efficacité, et permettrait de recouvrer les coûts de R-D. L'avenir du programme CANDU semblait donc assuré.

Le tableau idyllique que nous venons de brosser n'existe plus depuis au moins 10 ans. Néanmoins, l'État n'a pas cessé d'accroître son appui financier, bien que, en valeur réelle, cet appui ait atteint un sommet en 1973-1974. Mais, même si pendant 10 ans il a été évident que les perspectives d'avenir du CANDU étaient plutôt mauvaises, on n'a convenu d'aucune stratégie précise. S'il existe une stratégie délibérément établie, elle consiste à persévérer dans la voie empruntée dans l'espoir que, par l'effet du hasard, un réacteur sera commandé au cours de la prochaine décennie, et que le marché se redressera vers la fin des années 90.

Il n'est pas facile de supprimer graduellement les activités d'une industrie comme celle des réacteurs nucléaires. Les travaux à l'égard des réacteurs en voie de construction se poursuivront pendant encore six ou sept ans et l'infrastructure nécessaire pour entretenir ces réacteurs sera en demande encore pendant 40 ans. La décision de l'EACL de se retirer de l'industrie peut simplement se traduire, dans la réalité, par la réduction de ses opérations, la diminution des budgets affectés à la R-D et la mise au rancart de tout projet important visant à concevoir de meilleurs réacteurs du type CANDU, ou d'un autre type. Dans ces conditions, un éventuel retrait de l'industrie des réacteurs nucléaires pourrait se faire sans ameuter inutilement l'opinion publique. Pour indiquer qu'elle a cessé d'exercer ses activités sur le marché des réacteurs CANDU, l'EACL n'aurait qu'à réorienter son programme de recherche vers l'élimination des déchets radioactifs ou axer sa production sur les composantes des réacteurs « à eau légère » ou sur d'autres gammes de produits. Comme son budget de R-D sert en grande partie à payer les frais généraux qu'entraîne obligatoirement l'entretien des réacteurs CANDU actuellement en exploitation ou bientôt en service, son intention de cesser de mettre au point et de commercialiser des réacteurs CANDU n'a nullement besoin de faire l'objet d'une déclaration fracassante. Le

retrait de l'EACL pourrait amener à incorporer Hydro-Ontario à son organisation les services de l'EACL qu'elle juge indispensables pour entretenir les réacteurs qu'elle construit. Une telle mesure amènerait le gouvernement du Canada à réduire dans l'ensemble ses efforts pour assurer la survie de cette industrie apparemment en déclin.

Les aspects de la régression de la demande de réacteurs nucléaires

Quelles sont les perspectives, tant à court terme qu'à long terme, de la production d'électricité par voie nucléaire en général, et des réacteurs CANDU en particulier ? La plupart des prévisions du marché que nous reproduisons dans le présent document ont été établies par Evans et Hope (1983) et remontent à l'année 1983. D'après les données du tableau 5-1, on peut prévoir, entre les années 1985 et 2000, une hausse d'au maximum 400 GW et d'au minimum 200 GW de la capacité installée totale dans le monde. Comme les commandes pour la majeure partie de la capacité installée qui sera exploitée à compter de 1990 auront déjà été effectuées, on estime que les besoins de capacité supplémentaire durant la prochaine décennie s'établiront entre 163 GW et 365 GW. Si la part des marchés mondiaux occupée par le Canada se stabilisait à 5 %, notre pays recevrait, au cours des 15 prochaines années, des commandes pour la prestation d'une capacité de production oscillant entre 8 GW et 18 GW. Autrement dit, il serait appelé à construire au minimum neuf réacteurs de 850 MW et, au maximum, 21 réacteurs de cette puissance.

Si les estimations de Evans et Hope (1983) concernant le Canada peuvent servir de guide afin de déterminer l'exactitude de leurs estimations pour d'autres pays, leurs résultats semblent néanmoins avoir été surestimés. Au Canada, la capacité installée atteindra 15 GW après la fin, en 1992, des travaux de construction de la centrale à Darlington. Si l'estimation de la capacité installée en l'an 2000 faite par Evans et Hope s'avère juste, on aura besoin, avant 1995, d'une capacité supplémentaire de seulement 3 GW à 8 GW. On peut certainement affirmer aujourd'hui que l'estimation la plus faible est plus près de la valeur moyenne la plus vraisemblable. Le Canada ne recevra des commandes de réacteurs CANDU que si les entreprises de services publics vendent à leurs homologues américains l'excédent d'électricité, produite par des centrales nucléaires et des centrales classiques, dont elles disposent. Dans ce cas, il est plus approprié de parler d'espoir que de perspective.

D'après les données obtenues par Evans et Hope et reproduites dans le tableau 5-2, l'avenir de la filière CANDU semble encore moins prometteur. Même des pays comme l'Argentine, l'Égypte et le Mexique, dans lesquels nous avons effectué une percée, ne constitueront pas une clientèle importante. En effet, la demande provenant de l'ensemble des pays du monde non communiste qui ne sont pas membres de l'OCDE sera modérée puisqu'elle atteindra entre 18 GW et 59 GW. En outre, elle proviendra en grande partie de pays comme l'Inde, la Corée, Taiwan, le Brésil et l'Afrique du Sud. Le Canada devrait plutôt compter sur les commandes de la Corée. (Cet espoir s'est récemment évaporé quand la Corée, rejetant une soumission de l'EACL, a renouvelé sa confiance dans les réacteurs à eau légère.) Si l'on tient compte de la « vente » de réacteurs à la Roumanie, dont les aspects sont très complexes, et des ventes éventuelles à la Turquie, le Canada devra maintenant convaincre des pays de l'Europe de l'Est ou la Chine d'opter pour ses réacteurs. Ces marchés demeurent restreints et, de ce fait, la concurrence y est féroce. Par exemple, la France est en mesure de vendre chaque année entre six et huit réacteurs à eau légère depuis qu'elle a comprimé son programme nucléaire destiné au marché intérieur. (L'édition du 19 novembre 1984 du *Globe and Mail*, p. b3, révélait que Électricité de France commanderait seulement une centrale nucléaire en 1985 et en 1986 respectivement.) Il semblerait que la France soit en mesure de vendre ses réacteurs à un prix d'environ 30 % inférieur à celui qu'exige l'EACL, bien que l'on ne sache pas de façon certaine si ce chiffre englobe les dépenses qu'occasionne la production d'eau lourde dans le cas du réacteur CANDU. Les faibles coûts d'exploitation des réacteurs CANDU donnent à ceux-ci une longueur d'avance sur les autres types de réacteurs; cependant, il est impossible de préciser si cet avantage a suffisamment de poids pour compenser le coût en capital élevé de ces réacteurs. Il ne faudrait pas non plus sous-estimer la concurrence que peut exercer l'industrie américaine. Bien que des hausses irrépressibles de coûts aient fait un tort considérable aux réacteurs américains, les coûts de la mise au point de certains réacteurs aux États-Unis ont été équivalents, sinon inférieurs, aux coûts déclarés de la construction de réacteurs en France. À l'heure actuelle, la société GE tente de faire approuver un réacteur à eau bouillante de sixième génération, dans l'espoir de le commercialiser principalement à l'étranger. Si l'on tient compte de la concurrence à laquelle fait face la technologie CANDU, on pourrait considérer comme une réussite extraordinaire le fait d'accaparer 10 % du marché, ce qui signifierait la mise en place d'une capacité de production de 1,8 GW à 5,9 GW sur une période de 10 ans.

D'autres prévisions sont encore plus pessimistes. Dernièrement, la société Westinghouse prévoyait que,

dans le monde entier, en dehors de marchés captifs comme ceux de la France, du Canada et de l'Europe de l'Est, seulement 24 réacteurs de 1 200 MW seraient nécessaires d'ici l'an 2000. Si elle dit vrai, comme le Canada occupe 5 % du marché international grâce à la filière CANDU, il recevrait donc de pays d'outre-mer seulement deux commandes de réacteurs de 850 MW (« Westinghouse Expects Nuclear Power Revival », dans *The Globe and Mail*, Report on Business, le 9 octobre 1984). Ce nombre est de beaucoup inférieur à l'estimation faite par Secor Inc. en 1981, tel que mentionné par Lortie et Schweitzer dans leur étude (1981). Secor Inc. prévoyait que les ventes de réacteurs en l'an 2000 représenteraient une capacité de production de 32 GW.

Tableau 5-1

L'évolution des projections de la capacité de production d'énergie nucléaire jusqu'en 1985 et 1990

	Source des données	Année de la projection	Capacité projetée 1985 (en GW)	Capacité projetée 1990 (en GW)
Amérique du Nord	1	1972	295	539
	2	1975	223	426
	3	1977	125-157	214-287
	4	1979	112-134	177-214
	5	1980	96-119	138-156
	(Evans et Hope)	1983	84-105	113-135
Europe occidentale	1	1972	184	373
	2	1975	165-212	264-380
	3	1977	107-146	195-273
	4	1979	100-113	166-209
	5	1980	94-94	142-157
	(Evans et Hope)	1983	81-95	109-127
OCDE – Région du Pacifique	1	1972	63	106
	2	1975	49	85
	3	1977	27-40	50-80
	4	1979	26-33	45-60
	5	1980	28-30	51-53
	(Evans et Hope)	1983	20-23	27-33
Pays en développement	1	1972	25	50
	2	1975	46	114
	3	1977	19-25	45-60
	4	1979	19-23	45-50
	5	1980	14	30-33
	(Evans et Hope)	1983	10-15	19-23
Monde non communiste	1	1972	567	1 068
	2	1975	479-530	875-1 004
	3	1977	278-368	504-700
	4	1979	257-303	434-534
	5	1980	232-258	361-399
	(Evans et Hope)	1983	194-238	268-331

SOURCE Evans et Hope (1983), p. 10.

Tableau 5-2

Capacité de production d'énergie nucléaire installée nette, réelle et prévue, par pays, certaines années, 1978-2000
En gigawatts

			1985		1990		2000	
	1978	1982	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
Canada	5,5	7,0	9,0	10,1	11,6	13,3	18	23
États-Unis	55	63	75	95	101	135	130	180
Autriche	–	–	–	–	–	–	–	0,7
Belgique	1,7	3,5	4,5	5,5	5,5	5,5	5,5	8
Finlande	0,4	2,2	2,2	2,2	2,2	2,2	3	4
France	4,6	23,2	35	40	50	56	70	90
Allemagne	5,6	9,8	12,6	16	19	23	28	40
Italie	1,4	1,3	1,3	1,3	2	3	7	12
Pays-Bas	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0	3
Espagne	1	2	5	7,5	7,5	11,5	12,5	20
Suède	3,7	7,4	7,4	9,5	9,5	9,5	7	12
Suisse	1	2	3	3	3	4	4	5
Royaume-Uni	5,8	5,8	9	9	10	11,5	10	17
Autres pays de l'Europe occidentale	–	–	–	–	–	–	3	10
Japon	11	17	20	23	27	33	60	95
Australie et Nouvelle-Zélande	–	–	–	–	–	–	–	2
Pays membres de l'OPEP	–	–	–	–	–	–	–	2
Argentine	0,4	0,4	1,0	1,0	1,7	1,7	2,7	3,7
Brésil	–	0,6	0,6	0,6	2	3	4,5	7
Égypte	–	–	–	–	–	–	2	5
Inde	0,6	0,8	1,3	1,5	1,7	2,6	7	10
Corée	0,6	0,6	1,8	3,6	5,4	7,2	11	18
Mexique	–	–	–	1,3	1,3	1,3	3	7
Philippines	–	–	–	0,6	0,6	0,6	0,6	1,2
Afrique du Sud	–	–	1,8	1,8	1,8	1,8	3	6
Taiwan	0,6	3,1	3,1	4,9	4,9	4,9	7,5	14
Autres pays non industrialisés	–	–	–	–	–	–	2	7
Total pour le monde non communiste	99	150	194	238	268	331	401	603

SOURCE Evans et Hope (1983), p. 11.

La société Secor Inc. a calculé, par extrapolation, la demande pour la période 2000-2020 (voir les tableaux 4-6 et 5-3) et est parvenue à la conclusion qu'elle triplerait par rapport à la demande observée au cours des 20 années qui s'écouleront entre 1980 et l'an 2000. Ces prévisions proviennent de l'Évaluation internationale du cycle du combustible nucléaire. Ces estimations sont-elles fiables ? Il serait difficile même de le supposer. On s'attend

Tableau 5-3

Comparaison entre les prévisions de commandes de réacteurs nucléaires en Ontario et la capacité de production du marché international jusqu'à l'an 2000

En gigawatts

	Puissance installée en l'an 2000	
	Marché international	Ontario[1]
1974	4 000[2]	
1977	1 543[3]	80,0
1978	1 400[3]	50,0
1981	800[3]	28,0
1982		16,7

1 Hooker et coll. (1981), p. 55.
2 D'après le document *Une stratégie de l'énergie pour le Canada*, Ottawa, Imprimeur de la Reine, 1976, p. 68.
3 Lortie et Schweitzer (1981), plusieurs pages.

à un rebondissement du marché, étant donné l'accumulation rapide depuis la guerre de la capacité de production d'électricité. Même si la tendance actuelle devait se maintenir, c'est-à-dire si l'utilisation de l'électricité devait progresser plus lentement que durant les décennies précédentes, la demande de remplacement devrait continuer à soutenir le marché. Les centrales en exploitation aux États-Unis sont en place depuis en moyenne 15 ans; même si on fixe leur durée utile à 50 ans, des installations d'une puissance totale d'environ 100 GW seront commandées avant la fin du siècle dans le seul but de les remplacer (Luce, 1983). Si les besoins en électricité devaient augmenter de seulement 1,5 % par année, il faudra alors fournir une puissance supplémentaire de 62 GW. Si le taux de croissance de la demande régresse et se stabilise sur une longue période à aussi peu que 3,4 % (ce qui représente la moitié de 7 %, le taux moyen en vigueur pendant 40 ans), il faudra alors fournir une puissance supplémentaire de 340 GW. Bien entendu, la demande ne visera pas nécessairement uniquement les réacteurs nucléaires. Les coûts comparés de l'utilisation du charbon et de l'utilisation d'uranium pèsent lourd dans la décision de construire une centrale nucléaire. Outre ces considérations, il est assez extraordinaire de constater que, aux États-Unis, 25 % de la capacité installée de production d'électricité est encore alimentée au pétrole ou au gaz naturel. Cela s'explique par la faiblesse des prix du pétrole et du gaz avant 1973. Enfin, de nombreux réacteurs nucléaires construits et mis en service durant les années 70 cesseront d'être exploités vers l'an 2010. Des installations de remplacement seront commandées à la fin du siècle. La construction de centrales nucléaires dans d'autres pays industrialisés a évolué dans la même direction. En outre, étant donné que les prix du pétrole et du gaz naturel étaient souvent inférieurs au prix du charbon avant 1973, il faudra remplacer de nombreuses centrales alimentées par ces combustibles.

En dernière analyse, le marché américain est celui qui offre les meilleures perspectives pour le Canada; c'est aux États-Unis que de multiples centrales fort coûteuses et en place depuis longtemps, seront remplacées à la fin de la présente décennie et dans les premières décennies du prochain siècle. Cependant, c'est également aux États-Unis, qui possèdent du charbon en abondance et où l'industrie de la construction de réacteurs nucléaires est saturée, que la technologie CANDU tarde encore à se faire reconnaître.

Les types de réacteurs concurrents

La décision de ne plus mettre en branle de projets de recherche, de conception et de démonstration afin d'améliorer les réacteurs CANDU et les réacteurs concurrents équivaut en fait à se retirer de l'industrie. Si ces activités ne se poursuivent pas à un rythme acceptable au cours de la prochaine, ou des deux prochaines décennies, l'apparition d'autres types de réacteurs anéantira tout espoir pour la filière CANDU de se trouver un marché. Les courbes d'apprentissage et d'expérience sont des notions très réelles pour les producteurs de réacteurs nucléaires et les sociétés qui se chargent de leur exploitation. En outre, les réacteurs à eau légère seront sans cesse perfectionnés et la commercialisation des nouveaux types de réacteurs, actuellement à l'étape de la conception ou de la démonstration, pourrait devenir intéressante (voir Weinberg et Spiewak, 1984; Gould, 1984; et Wakstein, 1978). À moins que l'EACL ne reste au fait des progrès techniques dans le perfectionnement de la filière CANDU, on peut même concevoir que Hydro-Ontario s'adressera à des producteurs étrangers pour mettre au point la prochaine génération de réacteur canadiens. Il n'est pas non plus impossible que, par suite du perfectionnement des techniques de désulfuration, le charbon ne constituera pas un concurrent sérieux de l'uranium dans la production de l'énergie électrique.

Le ministère du Commerce international et de l'Industrie du Japon coordonne présentement un programme national dans le cadre duquel GE, Westinghouse, des fabricants de réacteurs nucléaires et des entreprises de services publics au Japon se réuniront afin de concevoir des réacteurs à eau légère d'avant-garde (voir également Marcus, 1983; Lester, 1983; et un article dans *The Economist*, le 6 février 1982). Aux États-Unis, le MIT réalise un programme de recherche appelé en anglais *The Light-Water Innovation Project* (Golay, 1984). Les scientifiques suédois étudient à l'heure actuelle une version modifiée du réacteur à eau légère qui porte en anglais le nom de *Process Inherent Ultimate Safety (PIUS)*. Ce système a pour but d'étendre à une semaine la période de rémission, advenant une perte de liquide de refroidissement dans le cœur du réacteur. À Three-Mile Island, le cœur du réacteur a commencé à fondre deux minutes après la perte de liquide de refroidissement (Freeman, 1983).

L'Allemagne fait actuellement la démonstration d'un réacteur à haute température refroidi au gaz de 300 MW qui fait partie de la catégorie des réacteurs à lit de boulets. Aux États-Unis, Gas-Cooled Reactors Associates, une société appartenant à 30 entreprises de services publics, travaille à la mise au point d'un réacteur à haute température refroidi au gaz. Lidsky (1984) a signalé que, de l'avis d'un groupe de professeurs du MIT, ce type de réacteur, refroidi à l'hélium, est un nouveau produit qui risque de faire fureur sur les marchés. Lidsky entrevoit déjà la construction de ces réacteurs en usine. Chaque réacteur de 100 MW serait transporté par camion jusqu'à l'emplacement de la centrale. Toute perte économique résultant de la petite taille de chaque unité serait compensée par les avantages de la *production en série* et par une diminution des coûts du fonctionnement sur place des réacteurs sur lesquels on a peu de prise. La qualité serait mieux protégée et le vendeur pourrait offrir des modules à des prix prédéterminés. En outre, l'achat d'unités permettrait aux entreprises de services publics d'adapter davantage leur capacité de production à leurs besoins en énergie et atténuerait la gravité d'un accident. On peut concevoir qu'une panne pourrait survenir dans un module sans pour autant influer sur le fonctionnement du reste de la centrale. Outre ces avantages, le réacteur à haute température refroidi au gaz serait en lui-même beaucoup plus sûr et un accident comme la fusion du cœur du réacteur ne se produirait que plusieurs heures après une fuite de liquide de refroidissement. Les systèmes de sécurité sont encore plus perfectionnés dans le réacteur à « lit de boulets ».

Les divers types de réacteurs mentionnés ci-dessus, qui se profilent maintenant à l'horizon, illustrent simplement quelques-uns des projets de R-D en cours. Les entreprises GE et Westinghouse poursuivent leurs activités. Les programmes de mise au point de « réacteurs surrégénérateurs rapides » progressent; la France, l'Allemagne et le Royaume-Uni ont dernièrement fait part de leurs intentions de construire trois nouveaux réacteurs (voir Collingridge, 1984*a*; Chow, 1977; Dickson, 1982 et 1984; Marshall, 1982; Young, 1984; Cochran, 1974; États-Unis, Department of Energy, 1982; *Business Week*, le 6 septembre 1982; et *New Scientist*, le 30 septembre 1982). La recherche se poursuit également dans le domaine de l'énergie nucléaire de fusion. Néanmoins, les activités de commercialisation sont surtout centrées sur les réacteurs de fission de types plutôt classiques parce que le prix de l'uranium reste à un bas niveau et les réserves sont abondantes. La durée plus longue que prévue du réacteur de fission traduit la volonté des pays et des entreprises d'investir dans la mise au point de nouveaux concepts améliorés.

Les réacteurs CANDU devront certainement céder du terrain aux réacteurs concurrents dans environ 10 ans, moment où l'on prévoit que le marché sortira de sa torpeur. Étant donné les perspectives commerciales à long terme de la filière CANDU, est-il justifié que l'État procède à de nouveaux investissements ? Cette question revêt une importance cruciale pour le gouvernement, parce que si le Canada ne fait pas le minimum pour se maintenir à la hauteur, quelles que soient les tendances du marché, la technologie CANDU sera devenue désuète. Cependant, avant de se lancer dans un nouveau programme d'investissement, il y aurait lieu d'examiner les perspectives d'une recrudescence de la demande. Les prévisions optimistes face à l'avenir de l'industrie nucléaire au Canada et ailleurs dans le monde ont été contredites par une longue série d'échecs. Dans les quelques parties qui suivent, nous évaluerons les marchés éventuels qui s'offriront à l'EACL.

La comparaison entre le charbon et l'uranium : l'énergie nucléaire est-elle concurrentielle ?

Tout analyste qui s'attelle à la tâche de déterminer l'évolution future du marché des réacteurs nucléaires doit en outre évaluer non seulement la force des concepteurs de réacteurs concurrents, mais aussi le retour du charbon parmi les combustibles concurrents et nécessaires à la production d'électricité. Quel que soit le type de réacteur retenu, le charbon est le principal rival de l'uranium pour la production de la charge de base. La rentabilité de la production de l'électricité en utilisant le charbon comme combustible est un facteur déterminant de reprise dans le marché des réacteurs nucléaires. Pendant les années 60 et jusqu'en 1975, on pensait que l'électricité produite à

l'énergie nucléaire était beaucoup moins coûteuse que l'électricité produite au charbon. Cette notion n'a plus cours aux États-Unis. Ce revirement d'opinion est la conséquence de la hausse effarante des coûts en capital (13 % par année) et du rendement plus que décevant des centrales nucléaires déjà en exploitation.

L'analyse de Hydro-Ontario

Dans tous les autres pays du monde, y compris le Canada, l'énergie nucléaire a toujours la cote. Par exemple, en 1981, Hydro-Ontario a fait valoir que les coûts d'exploitation d'une centrale au charbon, cumulés pendant la durée utile de celle-ci, étaient de 2,14 fois plus élevés que ceux d'une centrale nucléaire CANDU de taille équivalente (Hydro-Ontario, rapport n° 62058, 1981, p. 4). Ce chiffre élevé a été ramené à 1,46 dans une étude ultérieure (Hydro-Ontario, rapport n° 620SP, décembre 1982). Les deux études avaient pour but de calculer la totalité des coûts de construction et d'exploitation de la centrale échelonnés sur 40 ans à partir de 1995, en valeurs actualisées. Les résultats obtenus reposent sur l'hypothèse selon laquelle 80 % seulement de la puissance totale des centrales au charbon et des centrales nucléaires était utilisée. Cependant, à supposer que le facteur d'utilisation régresse, ce qui serait à l'avantage de la centrale au charbon puisqu'on aurait moins besoin de combustible, l'énergie nucléaire demeure toujours et de loin préférable au charbon.

L'analyse de l'OCDE

Dans une étude publiée en 1983 (et mentionnée dans la bibliographie [OCDE, 1983*b*]), l'OCDE signale que l'écart entre l'énergie nucléaire, qui vient en tête, et le charbon oscille entre 29 % et 75 %. Dans le centre des États-Unis (la région de Chicago), les coûts de la production d'électricité au moyen d'énergie nucléaire égalent tout juste les coûts de la production d'électricité au moyen de charbon. Sur la base d'un taux d'actualisation réel de 10 %, l'avantage que détient l'énergie nucléaire sur le charbon en Europe varie, semble-t-il, entre 9 % et 31 %, sauf en France, où il se situe à 50 %. Aux États-Unis, la production d'électricité à l'énergie nucléaire coûte 20 % de plus que la production d'électricité à l'énergie thermique. Au Canada, pour je ne sais quelle raison, les coûts de la production d'électricité par l'énergie nucléaire sont de 14 % moins élevés que les coûts de la production d'électricité au charbon, même à un taux d'actualisation réel de 10 %. Ces comparaisons sont faites à partir de statistiques de 1981 probablement périmées. Deux études menées en Ontario mettent en évidence la variabilité de ces prévisions puisque, en une seule année, l'écart qui séparait l'énergie nucléaire, qui détenait la première place, et le charbon, qui venait en second, a presque diminué de moitié. Dans son rapport, l'OCDE s'est fondée, pour évaluer la situation au Canada, sur l'étude menée en 1981 par Hydro-Ontario, qui signalait que les coûts en capital d'une centrale nucléaire correspondaient seulement à 109 % de ceux imputables à une centrale fonctionnant au charbon. En décembre 1983, Hydro-Ontario a porté son estimation à 134 %. Par suite de cette prévision à la hausse des données de l'OCDE, le charbon deviendrait une alternative plus intéressante pour le Canada.

Comme nous l'avons vu, Hydro-Ontario a montré dans son étude (rapport n° 6205, décembre 1982) que l'énergie nucléaire devançait de loin le charbon. Moyennant un facteur d'utilisation de 80 % pour les deux types de centrales, les coûts de la centrale au charbon dépassaient, en valeur courante au moment de la mise en service, de 46 % ceux de la centrale nucléaire. Même si l'on ramenait le facteur d'utilisation moyenne à 60 %, l'écart entre les coûts était alors de 33 %, toujours au profit de l'énergie nucléaire.

Comment Hydro-Ontario peut-elle conclure à la supériorité évidente de l'énergie nucléaire sur le charbon, tandis que l'OCDE, utilisant les mêmes données, brosse un tableau passablement différent ? Les résultats contradictoires s'expliquent par le fait que Hydro-Ontario a utilisé un taux d'actualisation réel d'environ 2 % en 1981, tandis que l'OCDE a appliqué à la fois des taux d'actualisation réels de 5 % et de 10 %. Sur la base d'un taux réel de 5 %, l'avantage que détenait l'énergie nucléaire est passé de 114 % à 42 % (OCDE, 1983, p. 26) dans le centre du Canada. Ce pourcentage reste néanmoins élevé si on le compare avec ceux qui sont obtenus dans la plupart des pays de l'Europe. Bien entendu, il est beaucoup plus près des résultats obtenus par Hydro-Ontario dans son étude de 1982. Il n'y a rien d'étonnant à cela, puisqu'en 1982, Hydro-Ontario a fixé le taux d'actualisation réel à 4,5 %[1].

Même l'OCDE laisse de nombreuses questions sans réponse et jette par ailleurs un éclairage étonnant sur l'influence de groupes d'intérêts sur le milieu politique. Par exemple, le charbon en provenance de l'Allemagne est vendu au prix de 85,6 ECU/tonne (en janvier 1981), contre 51,4 ECU/tonne pour le charbon importé. Néanmoins, les calculs selon lesquels l'énergie nucléaire est la source d'énergie la plus appropriée en Allemagne sont fondés sur le fait que le charbon satisfait à la moitié des besoins intérieurs en énergie. De même, le prix du

charbon au Royaume-Uni est fixé à 72,0 ECU/tonne, tandis qu'il atteint seulement 51,2 ECU/tonne et 49,8 ECU/tonne en France et en Italie respectivement. La position dominante de l'énergie nucléaire en Allemagne et au Royaume-Uni repose essentiellement sur le maintien d'un prix artificiel pour le charbon utilisé dans les nouvelles centrales au charbon. Cette situation est vraiment ironique, même si elle est tout à fait réaliste sur le plan politique. Les centrales nucléaires remplaceront peut-être les centrales au charbon parce que les prix du charbon sur les marchés intérieurs du Royaume-Uni et de l'Allemagne sont supérieurs de 40 % à 52 % au prix en vigueur sur le marché international.

Il ne faut pas se surprendre que l'OCDE conclut à la supériorité de l'énergie nucléaire sur le charbon, étant donné les prix élevés attribués au charbon dans l'étude et le coût auquel est évaluée la construction de centrales au charbon. D'après l'étude, pour une quelconque raison, la construction d'une centrale au charbon entraîne des coûts beaucoup plus élevés en Europe qu'au Canada. Une centrale construite en Grande-Bretagne coûte 1 372 ECU/kW et en France, 655 ECU/kW, même si les deux centrales ne disposent pas d'un matériel de désulfuration. La construction au Canada d'une usine comparable, dotée d'un matériel de désulfuration (qui augmente d'environ 20 % le coût en capital) coûte seulement 449 ECU/kW. Il ne fait aucun doute que l'analyse du coût de construction de centrales alimentées au charbon, qui démontre la supériorité écrasante de l'énergie nucléaire, est discutable. Si l'OCDE n'a pas fait fausse route dans ses estimations de coûts, la supériorité de l'énergie nucléaire en Europe est alors imputable en grande partie aux distorsions introduites dans le prix du charbon et dans le coût de la construction de centrales au charbon. Par contre, si ces estimations sont tout bonnement gonflées, nous avons entièrement raison de mettre en doute la véracité des rapports qui semblent avoir pour but de démontrer la supériorité de l'énergie nucléaire sur le charbon.

La plupart des pays en Europe prédisent que le prix du charbon augmentera, en valeur réelle, de 2 % par année, soit à un rythme plus accéléré que celui auquel s'accroît le prix de l'uranium. Cette hypothèse, également discutable, contribue à dénigrer le choix d'une centrale au charbon.

Il semble que l'on puisse davantage se fier aux données indiquées dans les études de Hydro-Ontario concernant le coût en capital initial engagé dans la construction de centrales au charbon et de centrales nucléaires qu'aux chiffres fournis pour l'Europe par l'OCDE. Néanmoins, même en Ontario, la supériorité de l'énergie nucléaire sur le charbon est loin d'être évidente.

Les résultats d'une analyse faite aux États-Unis

On ne peut que mettre en doute les conclusions de Hydro-Ontario quand on examine les statistiques comparables obtenues aux États-Unis pour la ville de Chicago. Dans l'étude de l'OCDE, malgré le fait que les coûts attribués à l'utilisation du charbon soient manifestement gonflés, l'énergie nucléaire arrive tout juste à égalité avec le charbon quand le taux d'actualisation réel est de 5 %, et est surpassée par le charbon, quand ce taux est porté à 10 %, étant donné qu'elle coûte alors environ 20 % de plus que le charbon. En outre, si l'on se fie à bien d'autres études réalisées aux États-Unis, l'avantage du charbon sur le nucléaire est supérieur à 20 %. Dans des travaux récents, Hellman et Hellman (1983) ont observé que l'énergie nucléaire n'était pas une option aussi avantageuse que ne l'auraient laissé croire quatre importantes études comparatives menées aux États-Unis. L'énergie nucléaire s'est classée première dans les quatre études, obtenant les résultats suivants : 1,60; 1,24; 1,15; et 1,06. Hellman et Hellman ont corrigé les rapports contenus dans les quatre études et ont obtenu 0,78; 0,71; 0,57; et 0,50; ce qui mettait le charbon en première place. Après ces corrections, le coût de la production d'électricité au charbon correspondait à aussi peu que la moitié du coût de la production d'électricité à l'énergie nucléaire.

Les taux d'intérêt réels utilisés par Hydro-Ontario

Hydro-Ontario (1982) s'est prononcée en faveur de l'énergie nucléaire de préférence au charbon, malgré une hausse du coût en capital d'une centrale nucléaire, principalement parce qu'elle utilisait les taux d'actualisation nominaux suivants : 1982-1985, 17 %; 1986-1987, 16%; 1988-1989, 15 %; 1991-1995, 14 %; 1996-2000, 13 %; et 2000-, 12 %.

La société supposait que le taux réel était de 4,5 % (p. 9), tandis que, dans un rapport antérieur (Hydro-Ontario, 1981), elle appliquait un taux réel de seulement 2 %. Hydro-Ontario a supposé dans l'étude qu'elle a faite ultérieurement que le taux d'inflation oscillerait entre 10 % et 12 % jusqu'en 1995, qu'il se maintiendrait à 8,5 % jusqu'à l'an 2000 pour ensuite revenir à 7,5 % jusqu'à la fin de la durée utile (35 ans) de la centrale.

L'utilisation d'un faible taux d'intérêt réel rend nettement plus intéressante l'option de l'énergie nucléaire. Par rapport à une centrale au charbon, la centrale nucléaire présente des coûts d'alimentation en combustible plus

faibles et des coûts en capital plus élevés. Ces deux facteurs sont à l'origine de la position dominante de l'énergie nucléaire. Par contre, l'inflation ne devrait pas, en principe, influer sur le choix entre la production d'électricité à l'énergie nucléaire et la production d'électricité au charbon, à moins que celle-ci ne modifie les prix relatifs du charbon et de l'uranium. Dans le contexte d'un taux d'inflation élevé, une entreprise de services publics qui opte pour une centrale alimentée au charbon réalisera des économies au titre du financement qui compenseront la hausse future du prix du charbon. Cela suppose que les taux d'intérêt courants comprennent le taux d'inflation prévu. Si tel est le cas, les frais d'intérêt supplémentaires qu'occasionne le coût en capital initial plus élevé de la centrale nucléaire feront contrepoids aux coûts d'alimentation en combustible supérieurs de la centrale au charbon.

Cependant, l'inflation aura un effet certain si le régime fiscal ne corrige pas les données pour tenir compte de ce phénomène. Étant donné que Hydro-Ontario ne paie pas d'impôt, aucune distorsion n'est introduite en utilisant la valeur comptable pour calculer l'amortissement pendant toute la durée utile du réacteur. Si les amortissements faits dans les premières années étaient versés dans un fonds de façon à produire de l'intérêt, cela permettrait d'annuler les coûts d'inflation et de remplacer la centrale à la fin de sa durée utile. Cependant, dans le cas des entreprises privées de services publics, le taux d'imposition des bénéfices des sociétés introduirait une grave distorsion. Quand les taux d'inflation sont élevés, la méthode de l'amortissement linéaire donne lieu à une exagération des profits dans les premières années, augmentant de ce fait les dépenses fiscales. À la fin de la durée utile de la centrale, les fonds accumulés provenant des amortissements auxquels on aura déduit l'impôt supplémentaire ne suffiront pas à défrayer le coût de remplacement.

Ces régimes fiscaux différents peuvent être l'une des raisons pour lesquelles les entreprises privées de services publics aux États-Unis ont délaissé l'énergie nucléaire, tandis que Hydro-Ontario continue de privilégier cette forme d'énergie. Cet aspect mérite d'être examiné plus à fond parce que l'on pourrait bien assister à une recrudescence de la demande en énergie nucléaire de la part d'entreprises privées de services publics aux États-Unis s'il advenait une diminution du taux d'inflation ou encore une réforme de la fiscalité des entreprises.

L'étude de Hydro-Ontario nous renseigne sur la sensibilité du coût de la production d'électricité à des variations des prix relatifs du charbon et de l'uranium. Par exemple, si l'augmentation du prix du charbon est inférieure de 20 % à l'augmentation prévue, l'avantage attribué à l'énergie nucléaire, moyennant un facteur d'utilisation moyenne de 80 %, chuterait de 46 % à 17 %.

Par conséquent, deux facteurs peuvent influer fortement sur les évaluations de l'avantage relatif de l'énergie nucléaire par rapport au charbon. Il s'agit du taux d'intérêt réel et le prix relatif du charbon par rapport à l'uranium. D'après les données du tableau 5-4, Hydro-Ontario est disposée à accroître sa capacité de production d'électricité par l'énergie nucléaire plutôt que thermique et ce, au coût de 1 127 $/kW (en dollars de 1995); elle espère ainsi économiser environ 6 373 $ (en dollars de 1995). Il s'agit certainement d'un investissement sain. Cependant, si le taux d'inflation régressait de 7,5 % à 4,5 % et si le coût du financement demeurait stable à 12 %, ce qui représente un accroissement du taux réel de 3 points de pourcentage, l'économie escomptée serait alors ramenée à 3 195 $. Si la hausse du prix du charbon était inférieure de 2 points de pourcentage à l'augmentation du prix de l'uranium, l'économie réalisée atteindrait à peine 1 409 $.

En dépit de ces avertissements, Hydro-Ontario conclut que la production d'électricité par voie nucléaire semble constituer en Ontario un investissement plus profitable que la production d'électricité au moyen de charbon.

Les évaluations du ministère de l'Énergie, des mines et des ressources

Dans une étude réalisée il n'y a pas si longtemps (EMR, 1981*b*), le gouvernement a entrepris de remettre en perspective l'étude de Hydro-Ontario. Contrairement à Hydro-Ontario, le ministère de l'Énergie, des mines et des ressources a calculé la valeur réelle des coûts et des avantages. Il a supposé que le taux d'inflation était nul et a attribué à l'uranium et au charbon les prix de 1978. Compte tenu d'un taux d'actualisation réel de 4 % et d'un facteur d'utilisation moyenne de 80 %, la comparaison entre l'énergie nucléaire et le charbon a été à l'avantage de l'énergie nucléaire dans une proportion de 170 %. En supposant un taux d'actualisation réel de 10 %, cet avantage a chuté à 117 %. Pour une raison quelconque, le Ministère n'a pas inclus le coût d'option du capital pendant la construction. S'il l'avait fait, plus de 500 millions de dollars auraient été ajoutés à l'option de l'énergie nucléaire et à peine moins de 200 millions de dollars, à celle du charbon, moyennant un taux réel de 10 %.

Tableau 5-4

Rapports hypothétiques entre le coût d'utilisation du charbon et le coût d'utilisation de l'énergie nucléaire pour des fins de production d'électricité, Hydro-Ontario
En dollars de 1995

	Coûts par kilowatt, moyennant un facteur d'utilisation de 80 %		Coût supplémentaire d'une centrale alimentée au charbon	Rapport entre le coût du charbon et le coût de l'énergie nucléaire
	Énergie nucléaire	Charbon		
Coût en capital	5 534	4 134	1 400	
Coûts d'exploitation annuels (à l'exclusion des dotations aux amortissements et des frais de financement)	224,24	576	(351)	
Valeur actuelle des coûts d'exploitation[1] (1985 en dollars de 1995)	4 310	11 019		
Coût total	9 852	15 359	5 507	1,54
Valeur actuelle des coûts d'exploitation[2] (1985 en dollars de 1995)	2 929	7 532		
Coût total	8 463	11 666	3 203	1,37
Valeur actuelle des coûts d'exploitation[3] (1985 en dollars de 1995)	2 929	5 736		
Coût total	8 463	9 870	1 407	1,17

NOTE Hypothèses applicables aux trois scénarios.
1 On suppose un taux d'inflation de 7,5 % et un taux d'intérêt nominal de 12 %.
2 On suppose un taux d'inflation de 4,5 % et un taux d'intérêt nominal de 12 %.
3 Le taux d'intérêt nominal s'élève à 12 % et les taux d'accroissement des prix de l'uranium et des prix du charbon s'élèvent respectivement à 4,5 % et à 2 %.
SOURCE Calculs de l'auteur à partir de données extraites de J. V. C. Fong, J. Basu Roy, G. N. Meehand et G. F. McIntyre, *Cost Comparison of CANDU Nuclear and Coal-Fuelled Generating Stations*, rapport n° 620SP, Toronto, Hydro-Ontario, 1982.

D'aucuns s'étonneront peut-être qu'aucune conclusion définitive ne puisse être tirée à propos des coûts d'utilisation relatifs de l'énergie nucléaire par rapport au charbon. Certes, pendant la vague de prospérité qui a déferlé à la fin des années 60 et début des années 70, on savait peu de choses sur les coûts véritables d'un réacteur nucléaire, sur le degré d'utilisation optimal de la centrale ou même sur la durée utile d'une centrale. On est maintenant mieux renseigné sur la fiabilité des centrales nucléaires et leurs coûts d'exploitation; l'avantage ou le désavantage de l'énergie nucléaire par rapport au charbon doit être évalué en fonction des estimations des taux d'intérêt réels et des prix relatifs du charbon et de l'uranium calculés sur une période de 50 ans. Par conséquent, nous ne pouvons que nous rallier à la conclusion de Bupp et Derian (1978). Après une analyse approfondie des données pertinentes, ces auteurs ont déclaré qu'il était impossible de se prononcer de façon catégorique pour ou contre l'énergie nucléaire, en se fondant sur une argumentation économique (p. 162).

6 Une analyse coûts-avantages rétrospective et prospective

La présente étude a révélé que si le programme CANDU a coûté cher au Canada, c'est parce que la demande d'électricité et la demande induite de réacteurs nucléaires se sont révélées, et de loin, inférieures aux prévisions les plus optimistes qui prévalaient avant 1975. Dans ce chapitre, on présente une estimation des coûts réels de ce programme. Toutefois, les dépenses déjà engagées sont choses du passé. Il importe maintenant de déterminer, d'une part, s'il y a lieu pour le Canada d'investir davantage et quel serait le type d'entreprise qui convient le mieux. Sans autres investissements, la technologie CANDU sera supplantée par d'autres. Le chapitre précédent a montré qu'il n'y aura presque pas de débouchés pour les réacteurs nucléaires pendant au moins 10 ans. Par la suite, il pourrait y avoir raffermissement du marché, surtout aux États-Unis. L'analyse des divers aspects du rendement passé est suivie de certaines hypothèses portant sur l'investissement minimal qui devrait assurer la survie du programme CANDU jusqu'en 1995. La possibilité de rendement de ces investissements est aussi examinée.

Une estimation des coûts de R-D de la filière CANDU

En 1981, les dépenses de R-D de la filière CANDU jusqu'à la fin de 1982 totalisaient 14 milliards (en dollars de 1981), en utilisant un taux d'actualisation réel de 7,5 %, équivalente à une valeur réelle de renonciation. Depuis 1982, environ 150 millions de dollars par année ont été dépensés en R-D, ce qui semble suffisant pour assurer une puissance installée de 15 GW d'ici 1992. À un taux réel de 7,5 %, la valeur actuelle des dépenses futures de R-D est de 2 milliards de dollars. Donc, les sommes englouties dans le programme s'élèvent à 16 milliards de dollars (en dollars de 1981). Cette estimation ne tient pas compte des montants supplémentaires qui pourront être radiés de l'actif pour la construction des réacteurs prototypes et la construction d'usines d'eau lourde (voir les tableaux 6-1, 6-2 et 6-3). Si l'on fait abstraction des intérêts et de l'inflation, les subventions fédérales pour les usines d'eau lourde s'élèvent à 546 millions de dollars (sans tenir compte de l'usine de Bruce qui a été achetée de l'EACL par Hydro-Ontario). En 1981, ces dépenses supplémentaires ont ajouté 2 milliards de dollars aux 16 milliards déboursés en R-D. Au total, le gouvernement fédéral a donc dépensé l'équivalent de 18 milliards (en dollars de 1981) pour le programme CANDU.

Il est vrai qu'une part des dépenses de R-D de l'EACL peut être attribuée à des projets à caractère non commercial ou à des projets autres que le programme CANDU. Dans une communication privée, le professeur Meneley a affirmé qu'il serait raisonnable d'attribuer jusqu'à 40 % des dépenses de R-D à des projets non rattachés au programme nucléaire CANDU. Cette proportion me semble exagérée, mais l'EACL n'a pas fourni de données précises à ce sujet. Puisque cet aspect n'a pas été examiné à fond, il ne reste plus qu'à faire une estimation modeste. Pour les fins de la présente étude, il sera supposé par la suite que 6 milliards de dollars ont été affectés à la recherche dans le cadre de projets non commerciaux et non rattachés à l'énergie nucléaire. Ce montant représente environ le tiers du budget total de R-D. Cette proportion est plus faible que celle que propose le professeur Meneley, mais je la soupçonne d'être beaucoup plus élevée que la proportion réelle. En conséquence, le coût total de la R-D est ramené à 12 milliards (en dollars de 1981) au lieu de 18 milliards.

Même si l'on pose cette hypothèse modeste, le coût moyen de R-D par kilowatt-heure de puissance installée au Canada est trop élevé. Le coût moyen sera de 1 053 $/kW jusqu'à l'achèvement de la centrale de Darlington, après quoi il tombera à 809 $/kW. Il faut se rappeler que ces coûts moyens tiennent compte d'un taux d'intérêt réel de 7,5 % par année et sont calculés pour l'année où ils sont engagés, avant ou après 1981. Le calcul consiste à diviser 12 milliards de dollars par le nombre de kilowatts de puissance installée.

Pour mieux juger de ces données, il faut se rappeler que le coût en capital des réacteurs CANDU pour Hydro-Ontario se situe entre 1 300 $ et 1 700 $/kW. Si Hydro-Ontario avait à payer le coût total de R-D par kilowatt, le coût en capital d'un réacteur nucléaire augmenterait d'au moins 50 %. Sauf lorsque les taux d'intérêt réels se rapprochent de zéro, Hydro-Ontario, cherchant à réduire les coûts au minimum, aurait sans doute choisi d'utiliser le charbon dans tous les cas[1].

Tableau 6-1

Dépenses du gouvernement fédéral pour financer la construction d'usines et la production d'eau lourde[1]
En millions de dollars

	Usines d'eau lourde				
	Bruce	Glace Bay	Port Hawkesbury	La Prade	Stock d'eau lourde
1978-1979	-6,29	8,3[2]	9,0	102,5	30
1977-1978	-5,85		12,0	56,5	2,25
1976-1977	-5,42	23,0	3,0	37,0	5
1975-1976	-1,30	33,5	35,0	69,0	15
1974-1975	–	54,0		31,0	-17,5
1973-1974	–	55,0			-4,1
1972-1973	20,0	18,0			11,0
1971-1972	68,0				10,6
1970-1971	62,0				–
1969-1970	25,0				10,0
1968-1969					
Capital total impayé	156,14	191,8	59,0	296,0	62,25
Intérêts capitalisés non perçus	57,094	72,9	NEC[3]	NEC[3]	–
Montants globaux impayés	213,23	264,7			62,25

1 Le montant indiqué exprime les avances totales moins les remboursements du capital (les remboursements d'intérêts figurent au tableau 9 du document cité ci-dessous).
2 Le montant comprend un prêt de 3,3 millions de dollars pour financer le versement initial de 1978 pour l'achat de l'usine de Glace Bay.
3 Non encore capitalisés (NEC).
SOURCE Canada, ministère de l'Énergie, des mines et des ressources (1981*b*), p. 384.

Il ne devait pas en être ainsi. Si la demande d'électricité avait augmenté comme on l'avait prévu, les coûts moyens de R-D auraient atteint seulement 546 \$/kW en 1977, puis seraient tombés à 250 \$/kW en 1990, 133 \$/kW en l'an 2000 et 96 \$/kW en l'an 2008. Si l'EACL avait réussi à faire de nombreuses ventes à l'étranger le coût moyen de la R-D par kilowatt des réacteurs d'Hydro-Ontario aurait diminué encore davantage. Ces données ne tiennent pas compte des réacteurs construits à l'étranger, et cela pour deux raisons. Premièrement, comme nous l'avons signalé précédemment, les ventes à l'étranger ne faisaient pas partie de la stratégie initiale adoptée pour le CANDU; elles sont devenues une priorité seulement après 1970 et même là, elles revêtaient une dimension tant politique qu'économique. Deuxièmement, il s'agissait de ventes à pertes à tout point de vue, suivant une comptabilité réaliste.

Hydro-Ontario et l'EACL répliqueraient sans doute que tous les fabricants de réacteurs nucléaires ont bénéficié de programmes gouvernementaux de R-D. Les données sont justes, mais que faut-il en déduire ? Dans un rapport publié aux États-Unis, on a confirmé que l'énergie nucléaire dans ce pays coûterait entre 1,5 et 2 fois plus cher en l'absence de subventions à la R-D et menée par le gouvernement (États-Unis, Department of Energy, 1982). S'il faut en déduire que, sans subventions fédérales, Hydro-Ontario aurait acheté des réacteurs de fabrication américaine ou choisi de s'en tenir aux centrales thermiques à charbon, l'auteur en convient et c'est précisément là où se situe le fond du problème. Hydro-Ontario aurait toujours pu importer la technologie nucléaire, et le Canada n'aurait pas été privé de cette forme d'énergie si la technologie CANDU n'avait pas été mise au point. Il faut donc comparer le coût total de mise au point du CANDU aux

avantages nets qu'aurait procurés à Hydro-Ontario l'utilisation de la meilleure technologie de remplacement.

Une comparaison des coûts et avantages d'une centrale CANDU et d'une centrale thermique à charbon pour Hydro-Ontario

Il est difficile de déterminer les avantages qu'Hydro-Ontario a tirés du choix de la technologie CANDU. Le ministère de l'Énergie, des mines et des ressources (EMR) a estimé à un milliard (en dollars de 1981) la valeur actualisée, datée de la mise en service d'une centrale, des économies à réaliser au titre du chargement en combustible et de l'exploitation par l'utilisation d'un réacteur de 850 MW de préférence à une centrale thermique à charbon (EMR, 1981*b*, tableau 14, p. 54). La valeur actualisée du flux d'avantages tirés durant l'année de mise en service d'une centrale est de 1 176 $/kW (en dollars de 1981). C'est à ce montant des avantages que se compare le coût différentiel d'une centrale nucléaire.

Il en coûte entre 294 $/kW et 471 $/kW de plus à Hydro-Ontario pour exploiter une centrale nucléaire de préférence à une centrale thermique. La première donnée, corrigée en fonction de l'inflation, est tirée du tableau 1 du rapport n° 620SP d'Hydro-Ontario, et la seconde, d'un document d'EMR (EMR, 1981*b*, pp. 29 à 48). L'étude d'EMR ne tient pas compte du coût des dispositifs de désulfuration des gaz de carneau (114 $/kW) ni des frais d'intérêt occasionnés durant la construction (114,5 millions de dollars dans le cas d'une centrale thermique à charbon et 381,9 millions pour une centrale nucléaire, les deux montants étant calculés en fonction d'un taux réel de 7,5 %). En outre, les calculs sont fondés sur le coût variable de l'eau lourde plutôt que son coût total. En plus des rajustements effectués pour tenir compte de la non inclusion des trois facteurs, les données exprimées en dollars de 1978 ont été converties en dollars de 1981 à l'aide de l'indice des prix à la consommation.

Tableau 6-2

Apport financier du gouvernement fédéral aux réacteurs nucléaires commerciaux au Canada : dépenses, remboursements et sommes à payer
En millions de dollars

	Réacteurs 1 et 2 de Pickering A	Gentilly II	Pointe-Lepreau
1978-1979	–	–	100,0
1977-1978	–	41,0	60,4
1976-1977	–15,798	59,0	44,1
1975-1976	–9,00	31,0	30,0
1974-1975	–5,490	20,0	
1973-1974	–6,909		
1972-1973	10,057		
1971-1972	20,052		
1970-1971	28,0		
1969-1970	22,0		
1968-1969	19,0		
1967-1968	9,0		
1966-1967	6,0		
1965-1966	2,4		
Capital total impayé	–	151,0	234,5
Intérêts capitalisés non perçus	–	–	NEC[3]
Montants globaux impayés	–[1,2]	151,0	–[4]

1 Capital impayé de 79 312 millions de dollars converti en capital-actions de l'EACL par le gouvernement canadien, en 1977-1978.
2 Intérêts non perçus de 38,6 millions de dollars auxquels on a renoncé en 1977-1978.
3 Non encore capitalisés (NEC).
4 Prélèvement incomplet des impôts reportés.
SOURCE Canada, ministère de l'Énergie, des mines et des ressources (1981*b*), p. 336.

Tableau 6-3

Dépenses du gouvernement fédéral au titre des réacteurs prototypes
En millions de dollars

	Douglas Point	Gentilly I
1977-1978		5,87
1976-1977		
1975-1976		
1974-1975		
1973-1974		
1972-1973		
1971-1972		4,7
1970-1971		19,0
1969-1970		21,0
1968-1969		22,0
1967-1968	4,000	12,5
1966-1967	18,275	2,5
1965-1966	5,812	
1964-1965	11,027	
1963-1964	12,000	
1962-1963	12,556	
1961-1962	5,075	
1960-1961	1,200	
Total	69,945	87,570

SOURCE Canada, ministère de l'Énergie, des mines et des ressources (1981*b*), p. 333.

En choisissant la centrale nucléaire plutôt que la centrale thermique au charbon, Hydro-Ontario dépense entre 300 $ et 470 $ de plus le kilowatt au titre des immobilisations initiales et prévoit réaliser des bénéfices de 1 176 $/kW. Ses économies nettes se situent donc entre 706 $ et 876 $/kW (en dollars de 1981). Puisque Hydro-Ontario n'a pas à supporter le coût de la R-D et que les dépenses à ce titre sont de toute manière irrécupérables, il n'est pas étonnant qu'Hydro-Ontario préfère l'énergie nucléaire au charbon. Il importe de se rappeler, comme nous l'avons vu dans le chapitre précédent, que le calcul des avantages du charbon par rapport à l'uranium demeure sensible aux hypothèses touchant les taux de croissance relatifs des prix du charbon et de l'uranium de même que le taux d'intérêt réel. Le lecteur constatera peut-être que l'avantage économique de la technologie CANDU par rapport à une centrale thermique au charbon n'a rien à voir avec celui signalé dans le chapitre précédent. La différence est attribuable au fait que nous utilisons ici les données d'EMR qui ont été rajustées pour tenir compte des facteurs que l'on a omis d'inclure.

Si l'on suppose que le processus politique aurait empêché l'Ontario d'acheter à l'étranger le réacteur d'une centrale nucléaire, c'est donc dire que la technologie CANDU a épargné à Hydro-Ontario environ 800 $/kW, et que le gouvernement du Canada a dépensé en R-D un montant qui atteindra 808 $/kW une fois que la centrale de Darlington entrera en service. Cet investissement du gouvernement du Canada n'a donc pas été très profitable, mais le programme atteint son seuil de rentabilité si l'on tient compte du transfert à l'Ontario. Si la demande d'électricité avait continué de croître à un rythme se rapprochant du taux prévu, la technologie CANDU aurait pu alors s'imposer.

Une comparaison des coûts et avantages d'un réacteur CANDU et d'un réacteur à eau légère pour Hydro-Ontario

La meilleure technique de production de l'électricité qui puisse remplacer le réacteur CANDU n'est peut-être pas le charbon, mais un réacteur à eau légère. Hydro-Ontario estime que le coût unitaire de quatre réacteurs CANDU de 850 MW est de 4 427 $/kW (en dollars de 1995 [ou 1 075 $/kW en dollars de 1981]). D'autres estimations peuvent atteindre 1 700 $/kW (en dollars de 1981). La gamme de coûts des réacteurs à eau légère pour différents projets est plus étendue que celle des réacteurs CANDU. En outre, les données sur les coûts aux États-Unis comprennent les frais d'intérêt occasionnés durant la construction, calculés selon le coût en capital moyen de l'entreprise. Puisque les entreprises américaines ajoutent le montant en question à leur assiette des actifs au moment de la mise en service de la centrale, elles sont fortement incitées à calculer les frais d'intérêt en fonction d'un taux élevé. Dans de nombreux projets d'énergie nucléaire aux États-Unis, les frais d'intérêt théoriques correspondent à 40 % du coût en capital total. Même si l'on tient compte de ces éléments, les réacteurs les moins chers peuvent coûter aussi peu que 960 $/kW (en dollars américains), tandis que certains réacteurs peuvent coûter plus de 5 000 $/kW une fois achevés, à cause d'une mauvaise gestion et des défauts de construction.

On estime que le coût d'un réacteur à eau légère correspond, en moyenne, à celui d'un réacteur CANDU avant le chargement du combustible (environ 1 350 $/kW en dollars de 1981). La charge initiale d'eau lourde rend le réacteur CANDU plus coûteux qu'un réacteur à eau légère.

Les données sur les avantages proviennent d'EMR. D'après le ministère de l'Énergie, des mines et des ressources, la valeur actualisée, à un taux de 7,5 %, des avantages attribuables à un réacteur CANDU de 850 MW est de 232 millions de dollars (EMR, 1982, p. 54). Ces avantages découlent des coûts d'exploitation plus faibles

du réacteur CANDU qui ne fait pas appel à l'uranium enrichi. Ils laissent également croire que l'exploitation du réacteur CANDU est plus efficace que celle d'un réacteur à eau légère. Cette hypothèse est juste dans le cas d'un réacteur à eau légère ordinaire de conception américaine, mais elle ne l'est pas, en ce qui concerne les meilleurs modèles. Puisque la capacité d'un réacteur est fonction de l'efficacité de l'entreprise de services publics qui exploite la centrale, il faut présumer qu'Hydro-Ontario construirait et exploiterait des réacteurs à eau légère suivant les mêmes normes de rigueur appliquées au CANDU. Sous ce rapport, Duke Power est l'entreprise américaine de services publics qui connaît le plus grand succès dans l'industrie nucléaire. Cette entreprise construit et exploite ses propres réacteurs, comme le fait Hydro-Ontario.

D'après une estimation optimiste fondée sur des données moyennes, les avantages nets que retire l'Ontario correspondraient à 41 $/kW, une fois que le coût de la charge d'eau lourde a été pris en considération. Les avantages attribuables à des coûts réduits d'exploitation et de chargement en combustible s'élèvent à 278 $/kW, avant la déduction du coût en capital. Un élément important du coût en capital est celui de l'eau lourde qui atteint 155,5 millions (en dollars de 1978) pour un réacteur de 850 MW, selon le ministère de l'Énergie, des mines et des ressources (EMR, 1981*b*, p. 34). Ce montant représente moins de 20 % des coûts avant le chargement en combustible, proportion à laquelle on fixe souvent le coût de la charge initiale d'eau lourde. Ce montant a été calculé en fonction d'un prix fixé à 203 $/kg d'eau lourde qui est nettement inférieur à certaines estimations pouvant atteindre 330 $/kg. Bien sûr, le coût d'option actuel de l'eau lourde est presque nul puisque le Canada dispose d'une réserve considérable d'eau lourde. Toutefois, les estimations présentées ici fournissent une indication rétrospective du coût du programme CANDU par rapport aux autres sources d'électricité. Dans ces conditions, il convient d'ajouter le coût total (coût en capital et frais d'exploitation) de la production d'eau lourde à celui du programme CANDU. Lorsque le coût total de l'eau lourde est incorporé, le coût en capital marginal d'Hydro-Ontario pour un kilowatt-heure supplémentaire imputable à la préférence accordée au réacteur CANDU, plutôt qu'à un réacteur à eau légère, est de 237 $/kW. Les dépenses de R-D moyennes du Canada sont de 1 053 $/kW avant la mise en service de la centrale de Darlington et seront de 809 $/kW après. Puisque l'Ontario disposera d'une capacité de production d'un peu moins de 15 GW lorsque la centrale de Darlington sera mise en service, les avantages tirés du programme CANDU totaliseront 615 millions (en dollars de 1981), tandis que le coût du programme pour le gouvernement du Canada s'élèvera à environ 12 milliards (en dollars de 1981). Ces résultats, en dollars par kilowatt-heure de puissance installée, sont indiqués au tableau 6-4.

Tableau 6-4

Coûts et avantages d'un réacteur CANDU par rapport à une centrale thermique à charbon et à un réacteur à eau légère, pour l'Ontario et le Canada

En dollars de 1981 le kilowatt-heure de puissance installée

	Centrale thermique à charbon	Réacteur à eau légère
1 Coût de R-D	809	809
2 Coût marginal de construction d'une centrale CANDU pour Hydro-Ontario	294–471	237
3 Coût marginal pour le Canada (coût de R-D plus coût en capital)	1 103–1 280	1 034
4 Avantages pour l'Ontario des coûts réduits d'exploitation et de chargement du combustible	1 176	278
5 Économies nettes de l'Ontario (poste 4 moins poste 2)	882–705	41
6 Économies (pertes) nettes du Canada (poste 4 moins poste 3)	73–(104)	(756)

Toutes les sommes investies par le gouvernement fédéral sont présumées irrécupérables. Pour pouvoir considérer que les sommes investies sont recouvrées, c'est-à-dire que la valeur actualisée des économies découlant de l'exploitation du CANDU au lieu de toute autre technologie est égale au coût total de R-D, il faudrait que la puissance installée atteigne 80 GW. D'après les projections actuelles les plus optimistes, la capacité de production au Canada ne dépassera pas 20 GW en l'an 2000. L'analyse coûts-avantages qui précède ne tient pas compte des réacteurs CANDU vendus à l'étranger parce qu'il est peu probable, compte tenu des taux de prêts commerciaux, que le Canada ait réalisé des profits sur une seule de ces ventes. Il faudrait incorporer à cette analyse les

données se rapportant au réacteur construit au Nouveau-Brunswick (le seul à l'extérieur de l'Ontario), mais on peut difficilement supposer que les contribuables de cette province ont déjà bénéficié de la technologie CANDU étant donné la mise en service récente du réacteur. De toute manière, cela n'entraînerait pas un rajustement majeur des données pour l'Ontario.

Les résultats de la présente analyse coûts-avantages entrent en ligne de compte dans la décision que devra bientôt prendre le gouvernement au sujet de l'avenir du programme CANDU. À la fin des années 50, le gouvernement a décidé d'investir des centaines de millions de dollars dans l'avenir d'une nouvelle technologie. Or, l'analyse coûts-avantages révèle que les perspectives très prometteuses de cette entreprise à risques élevés ne se sont pas concrétisées. Le mieux que l'on puisse dire des avantages économiques procurés par le programme CANDU, c'est qu'il aura stimulé la recherche et développement au Canada et aura permis aux Canadiens de participer à l'évolution de la technologie nucléaire sans devoir quitter le pays.

L'avenir du CANDU

Lorsque le programme CANDU a été mis sur pied, la technologie était encore à ses balbutiements mais les perspectives commerciales semblaient illimitées. Aujourd'hui, la technologie est assez avancée, mais les perspectives commerciales sont actuellement très sombres. Le marché s'est estompé et il est difficile de prévoir l'importance qu'il pourrait avoir dans 10 ans. Le raffermissement du marché pourrait se produire à un moment où la fission de l'atome serait sur le point d'être remplacée par la surrégénération et les techniques de fusion plus récentes. Il est encore moins certain que la technologie CANDU pourra concurrencer d'autres techniques de fission sur le marché ou à l'étude. À la fin des années 50, le gouvernement a créé une entreprise à qui incombait la mission hautement technique de faire du réacteur CANDU un produit économiquement rentable. Cette mesure semblait justifiée à l'époque. Puisque la taille du marché intérieur était jugée suffisante pour supporter une industrie de fabrication rentable au Canada et que l'EACL était assurée d'un marché, la réussite sur le plan technologique était la clé du succès commercial. La conjoncture actuelle est très différente. Les réussites technologiques en recherche et développement peuvent présenter des avantages, mais le mandat de l'EACL est beaucoup plus vaste. Au cours de la prochaine décennie, l'EACL doit définir le créneau du réacteur CANDU et d'autres versions perfectionnées sur les marchés mondiaux. La stratégie commerciale que poursuit actuellement l'EACL ne garantira pas la survie du programme CANDU sur les 10 prochaines années et ne transformera pas le réacteur en un sérieux concurrent des autres modèles. À l'heure actuelle, les débouchés du CANDU se résument au marché intérieur et à certains pays non industrialisés. La plupart des pays en développement avec lesquels le Canada fait affaire n'achèteront pas un grand nombre de réacteurs. Ceux qui pourraient le faire, la Corée, par exemple, exploitent à la fois des réacteurs à eau légère et à eau lourde, et ils pourraient facilement opposer un fabricant à un autre. La Corée a récemment annoncé son intention d'accroître la fabrication intérieure des composants de réacteurs (voir « South Korea plans to keep nuclear work », *The Globe and Mail*, le 31 août 1984, cahier B, p. 4). Tous les autres pays industrialisés possèdent leur propre industrie nucléaire et chercheront à protéger leur marché intérieur tout en s'efforçant de vendre à l'étranger.

Les possibilités commerciales du CANDU sont donc limitées à la fois par la perspective d'un marché restreint et par les efforts déterminés de fabricants concurrents sur les marchés mondiaux. La taille du marché intérieur ne sera pas, comme elle semblait l'être durant les années 50, suffisante pour justifier des dépenses considérables de recherche-développement. Si l'EACL n'a pas l'intention de promouvoir les ventes à l'étranger, il serait téméraire d'investir des sommes importantes pour perfectionner le CANDU. En l'absence de tels investissements, toutefois, il est peu probable que le réacteur CANDU conserve ses débouchés intérieurs, ce qui limiterait les choix de l'EACL. Elle peut adopter une stratégie commerciale offrant la possibilité d'élargir le marché du réacteur CANDU, ou encore négocier une forme d'association à un producteur étranger. La première possibilité suppose un investissement énorme et, comme le montre l'auteur plus loin, ne peut être envisagée à moins qu'il ne soit décidé de dépenser au moins 6 milliards de dollars au cours des 10 prochaines années. Ce montant n'est qu'une estimation très approximative, mais il fait ressortir la dimension du problème. La seconde possibilité, soit rechercher une association avec d'autres producteurs, est moins coûteuse. Les profits seraient moins élevés si le marché devait se raffermir mais le réacteur CANDU serait malgré tout en mesure de soutenir la concurrence dans 10 ans. D'autre part, la seconde possibilité peut garantir l'exploitation efficace de la compétence de l'EACL en recherche et la participation de l'industrie nucléaire canadienne à la mise au point et à la production de la nouvelle génération de réacteurs canadiens.

L'industrie nucléaire subira sans doute des perturbations au cours des 10 ou 20 prochaines années. La

technologie CANDU survivra-t-elle à la restructuration de l'industrie à l'échelle mondiale ? Pour pouvoir le faire et demeurer indépendante, à la fois, l'EACL doit intensifier son activité de R-D et acquérir une « crédibilité » sur les marchés mondiaux. Pour acquérir cette crédibilité, l'EACL doit continuer à vendre des réacteurs en dépit de la forte contraction du marché et se faire une réputation sans pareille sur le plan de la sécurité et de l'exploitation. Toutefois, même la réussite à cet égard ne garantit pas l'avenir de la technologie CANDU sur le marché international complexe. La preuve la plus concluante de la crédibilité de la technologie CANDU serait la construction sous licence aux États-Unis.

L'implantation du réacteur CANDU sur le marché américain

Il y a plus à gagner que la crédibilité de la technologie CANDU auprès des clients éventuels dans les pays en développement. Outre l'Ontario, le marché des États-Unis offre les meilleures perspectives commerciales. Dans les négociations touchant le libre-échange et l'accès au marché américain, il faudrait chercher à conserver l'accès du CANDU à ce marché. Les efforts de commercialisation en Europe et au Japon ont moins de chances de réussir. En outre, comme nous l'avons déjà mentionné, il est probable que, vers l'an 2000, les entreprises américaines de services publics se doteront d'une capacité de production d'électricité qui pourrait varier entre 150 et 400 GW.

Il en coûtera cher de bâtir la réputation de la technologie CANDU. La recherche devra s'intensifier. Plus encore, l'EACL devra être disposée à faire des concessions sur le prix ou à accepter la plus grande part du risque pour réussir à vendre des réacteurs. Les entreprises américaines de services publics font preuve de prudence dans l'achat de réacteurs nucléaires parce qu'il leur est difficile de financer la construction à cause des règlements qui régissent l'établissement des tarifs de l'électricité. Le retour aux projets clés en main contribuerait dans une large mesure à ranimer le marché. Les risques sont élevés, mais ils font nécessairement partie de la recherche de la crédibilité.

Les conséquences financières du maintien du programme CANDU

Quelles sont les chances de récupérer les sommes à investir ? L'auteur estime qu'il ne faut pas songer à maintenir le programme sans être décidé à investir environ 4 milliards de dollars d'ici 1995. Puisqu'il faudra attendre bien après 1995 avant que ces dépenses ne rapportent, le coût d'option des 4 milliards de dollars, calculé à un taux réel de 7,5 %, s'élève à 6 milliards, et ce montant ne comprend pas les pertes découlant de garanties ou concessions « normales » rattachées au financement des exportations. Il est inutile de justifier en détail une estimation aussi approximative que ce chiffre de 6 milliards. Les dépenses annuelles de 400 millions de dollars prévues ici serviraient à financer à la fois la recherche plus poussée, le développement et la démonstration de nouvelles techniques de même que les importantes subventions requises pour effectuer une percée sur le marché américain.

À un taux réel de 7,5 %, le seuil de rentabilité serait atteint si l'EACL retirait environ un milliard de dollars par année entre 1995 et 2025. Si l'on suppose des ventes correspondant à 4 GW (environ cinq réacteurs de 850 MW), il faudrait que ces ventes produisent 250 $ de plus par kilowatt (en dollars courants). Ce montant équivaut à environ 15 % du coût en capital en 1984 d'un kilowatt de capacité nucléaire installée. Ce supplément serait réalisable si le marché se rétablissait suffisamment et si, entretemps, les autres producteurs de réacteurs nucléaires se retiraient de la course. Malheureusement, ces autres producteurs, notamment les Japonais qui se sont associés à GE et à Westinghouse, n'en manifestent pas l'intention. Il est également peu probable que les producteurs allemands ou français abandonnent le marché. Toutefois, on peut concevoir que les coûts en capital du CANDU puissent être abaissés au point où les coûts d'exploitation réduits se traduiraient par un avantage de 15 % par rapport aux autres producteurs. Ce n'est pas sur les marchés du Tiers Monde où tous les producteurs écoulent leurs produits que l'EACL obtiendra le supplément en question. Pour cette raison, entre autres, il importe d'examiner toutes les avenues possibles à l'établissement d'une présence réelle sur le marché américain.

Le supplément nécessaire pour atteindre le seuil de rentabilité tombe à mesure qu'augmentent les ventes. Il n'est pas impossible que les commandes dépassent de trois ou quatre fois le niveau de 4 GW par année proposé ici. Bien sûr, il n'est pas judicieux d'investir si le mieux que l'on puisse espérer est d'atteindre le seuil de rentabilité. L'investissement a pour objet d'assurer la survie dans l'espoir qu'un raffermissement du marché provoquera un plus grand nombre de commandes, supérieures à l'équivalent de 4 GW par année. L'objectif de 4 GW par année n'est pas négligeable et il est fort possible que l'on ne réussisse même pas à atteindre 40 GW sur 10 ans.

D'autres considérations militent contre l'investissement. Un taux réel de 7,5 % ne semble guère être le facteur à retenir dans le cas d'un investissement assorti de

si grands risques. Fait plus important encore, la réussite de l'investissement dépend de l'aptitude de l'EACL à mettre en œuvre une solide stratégie de commercialisation. L'étude de l'organisation présentée ici ne laisse pas croire que l'EACL soit orientée en ce sens. Depuis 1978, cependant, l'EACL a pris des mesures pour redresser la situation. Mais les changements apportés sont-ils suffisants pour relever un nouveau défi aussi décourageant et incertain que ne l'était, à l'origine, celui auquel était confronté un petit pays comme le Canada avant de prendre la décision de se lancer dans le projet CANDU ? Quant à savoir si une société d'État est le mécanisme convenant le mieux à un investissement public aussi important et peu sûr, nul lecteur parvenu aussi loin dans la lecture de cette étude, ne s'étonnera qu'à ce stade, l'auteur émet de sérieuses réserves.

La seconde stratégie consisterait à trouver des partenaires pour la mise en valeur du CANDU ou d'une autre technologie. Le principal avantage de cette stratégie est qu'elle est probablement moins coûteuse que la première. Elle peut permettre à l'EACL de participer à la commercialisation d'une technologie ayant un plus vaste marché assuré ou une plus grande crédibilité, voire les deux. La stratégie devient problématique lorsqu'il s'agit de trouver les associés. Les journaux rapportent, et le professeur Meneley confirme, que l'EACL cherche à s'associer à des producteurs japonais. L'EACL n'est peut-être pas le producteur que des associés éventuels recherchent, puisqu'aucun revenu n'est avant une bonne décennie, ou presque. En outre, la vente de l'EACL ou son association à un producteur étranger entraînerait une perte de prestige. Il serait préférable que l'associé soit une entreprise d'État. Il est facile d'imaginer les protestations à caractère politique que susciterait l'association de l'EACL à une multinationale américaine. Cependant, cette possibilité offre un autre avantage : si un associé demeure introuvable, il y a tout lieu de se demander s'il serait sage de retenir la première option.

7 Conclusion

Il a été démontré, dans la présente étude, qu'une société d'État n'est pas une formule qui convienne à une nouvelle industrie fondée sur une technologie complexe et présentant des risques élevés au moment où l'entreprise doit acquérir à la fois une réputation et une taille donnée en moussant les ventes sur un marché international où la concurrence est très vive. Lorsqu'on avait pour la première fois envisagé la possibilité de commercialiser la technologie CANDU, il y avait lieu de croire que le marché canadien pouvait à lui seul assurer sa rentabilité. En outre, aucun des producteurs concurrents paraissait pouvoir offrir un meilleur produit. Dans ces conditions, l'entreprise retenue pour développer la technologie CANDU aurait dû être, d'abord et avant tout, un organisme de recherche investi d'une mission bien définie, comme la NASA. Lorsque la mise en valeur d'une technologie dépend de sa réussite dans une industrie oligopolistique mondiale, la société d'État est désavantagée.

La faiblesse de l'entreprise publique découle du fait que ses cadres supérieurs ne peuvent mettre en œuvre des stratégies commerciales à long terme, parce qu'ils sont sous l'empire des mandants de l'entreprise. Le gouvernement, qui reste la seule source de financement, conserve les pouvoirs clés et restreint la marge de manœuvre des cadres de l'entreprise publique. Lorsqu'il faut décider de s'aventurer sur les marchés étrangers ou de s'en retirer, les cadres supérieurs d'une entreprise publique ont tendance à se replier sur le marché intérieur protégé. Voilà un compte rendu réaliste de la difficulté d'une part de concilier les impératifs politiques et la planification de l'entreprise et, d'autre part, de prendre des décisions compliquées qui sont inévitablement exposées au grand jour, étant donné le caractère public de l'entreprise.

Dans les industries animées de l'esprit d'entreprise, en revanche, les chefs de file qui réussissent en affaires témoignent d'une grande autonomie d'action dans l'exécution de leur mandat. Les cadres supérieurs de grandes entreprises acquièrent cette indépendance en diversifiant les marchés de leurs produits et leurs sources de financement. Ils montrent que les intérêts à long terme des actionnaires leur tiennent à cœur en détenant une part importante des capitaux propres de l'entreprise et en ayant recours à des programmes de primes incitatives rattachées aux projets particuliers. Leurs propres intérêts sont aussi étroitement liés à ceux de l'entreprise puisqu'ils sont habituellement ceux qui se sont hissés dans la hiérarchie.

Dans les industries animées d'un esprit d'entreprise, où la concurrence se manifeste par une forte rivalité pour acquérir la prédominance, la victoire s'obtient avec la meilleure stratégie. Il est avantageux d'avoir un nouveau produit concurrentiel, mais ce dernier ne garantit pas le succès. Dans une situation de vive concurrence entre géants dont quelques-uns seulement sortiront vainqueurs, la stratégie de la réussite dépend de l'imagination, de l'inspiration, de l'adresse et de l'endurance des cadres. L'entreprise dont la stratégie réussit est celle qui amorce le changement, guette les occasions, tente des expériences et se montre souple. L'entreprise qui se limite à réagir, incapable d'élaborer une stratégie à long terme le moindrement viable ni d'inculquer à son organisation l'idéologie appropriée et qui déploie trop d'efforts pour mettre en œuvre des stratégies à contre-courant ne survivra probablement pas à la restructuration de l'industrie.

Depuis le début, la société Westinghouse a été à la fois l'instigatrice et l'innovatrice de l'industrie nucléaire. Pour réaliser de premières ventes à pertes, elle a construit des centrales en vertu de contrats clés en main à prix fixe, garanti la vente à prix fixe de l'uranium en vertu de contrats à long terme, consenti à l'exploitation sous licence de sa technologie, et s'est engagée dans des coentreprises en France, au Japon et ailleurs. La General Electric a adopté des stratégies similaires.

Le Canada n'a pas fait preuve du même esprit d'entreprise dans la commercialisation du réacteur CANDU. La stratégie commerciale a été centrée sur le marché de l'Ontario et la diversification des choix commerciaux a été négligée. Il s'agit d'une orientation naturelle pour une entreprise à vocation définie qui cherche à éviter les risques, mais un chef d'entreprise commerciale audacieux, qui sait que le marché intérieur n'est pas à lui seul garant de la survie à long terme, et qui doit conséquemment viser les marchés mondiaux, aurait procédé autrement. Lorsque l'EACL a constaté avec beaucoup de retard qu'elle perdrait de la crédibilité si elle ne vendait pas de réacteurs à l'étranger, elle a concentré ses efforts de commercialisation sur les pays à économie faible. Les marchés du Tiers Monde sont devenus, comme il fallait s'y attendre,

les débouchés où les fabricants, dont le marché intérieur est protégé, écoulent à rabais leurs excédents ou cherchent à élargir leur échelle de production en procédant à des ventes marginales à l'étranger.

Convaincue que les pays industrialisés protégeraient leur marché intérieur, l'EACL n'a pas cherché à pénétrer les marchés américain et allemand. Il aurait fallu exploiter les vastes marchés de ces deux pays parce qu'il aurait été possible de vendre des réacteurs à des entreprises privées de services publics. Si l'EACL s'était efforcée davantage de mettre la technologie CANDU en valeur durant les années 60, elle aurait peut-être réussi à vendre des réacteurs au Royaume-Uni ou en France là où le prestige faisait obstacle aux technologies étrangères. La France est maintenant le chef de file de la technologie nucléaire à l'eau légère, technologie qu'elle a acquise des États-Unis, et le Royaume-Uni s'intéresse également à la technologie américaine.

Le manque d'attention à la production et au prix de l'eau lourde a été l'aspect de la stratégie commerciale qui a été le plus nuisible durant la période critique de 1964 à 1974. L'approvisionnement en eau lourde et son coût de production constituaient le talon d'Achille du programme CANDU, mais aucune mesure énergique ne semble avoir été prise pour apaiser l'inquiétude des clients à ce sujet. Le rejet de la technologie CANDU par le Royaume-Uni au début des années 70 serait attribuable au coût de l'eau lourde et aux risques que présente sa production dans des régions fortement peuplées (voir Milne, Pearce, 1983). Au milieu des années 60, lorsque les clients craignaient les fuites d'eau lourde, l'EACL aurait dû garantir l'approvisionnement à ses frais. Plus tard, une fois que l'EACL avait prouvé l'étanchéité du réacteur CANDU, elle aurait dû garantir l'approvisionnement à des prix réduits fermes.

En ce moment même, il faut songer à investir des sommes considérables pour assurer la survie du programme CANDU et ce, jusqu'au raffermissement du marché des réacteurs nucléaires, prévu pour 1995. Peut-être faudrait-il laisser l'industrie se débrouiller tant bien que mal en s'occupant de la réfection des centrales de Pickering ou encore de la négociation de ventes à l'étranger, comme celle, à la Roumanie ou celle qui sera peut-être conclue avec la Turquie. Selon les données fournies, la valeur des installations spécialisées appartenant à des intérêts privés et dont les opérations dépendent du CANDU s'élève seulement à 240 millions de dollars mais la main-d'œuvre est composée de travailleurs très spécialisés qui pourraient sans doute se trouver un emploi ailleurs. En outre, une part importante des immobilisations étroitement liées au programme CANDU pourrait servir à d'autres fins. Toutefois, il est peu probable que l'industrie survive après l'an 2000 si elle ne reçoit pas une aide financière considérable. Si l'industrie nucléaire canadienne devenait inactive, il serait impossible de la ranimer à moins que tous les producteurs concurrents n'aient eux aussi cessé leurs activités de R-D. Il est peu probable que cela ne se produise : des projets de démonstration de nouveaux réacteurs ont été mis sur pied pendant que l'on tente d'améliorer les vieux réacteurs.

Le raffermissement du marché de l'énergie nucléaire n'est pas du tout assuré, mais tout laisse croire que l'on peut s'attendre à une modeste reprise après 1995. Toutefois, s'il y avait effectivement essor du marché, il n'est pas certain que la technologie puisse soutenir la concurrence des autres technologies, même sur le marché canadien. Si on laissait la technologie CANDU s'atrophier et l'EACL devenir une « morte-vivante », comme on a l'habitude de dire dans l'industrie à capital de risque, il vaudrait mieux songer à une fusion totale ou partielle de l'EACL avec Hydro-Ontario. Par ailleurs, si le gouvernement choisissait d'investir des sommes importantes pour faire face à la prochaine vague de commandes, il faudrait étudier soigneusement l'éventualité d'une privatisation partielle ou totale de l'EACL sous une forme ou une autre. Une autre possibilité consisterait à trouver un associé pour l'EACL, recruté parmi les entreprises étrangères, privées ou publiques, de l'industrie nucléaire. La coentreprise pourrait alors être un moyen de réduire les coûts de R-D d'une nouvelle génération de réacteurs et de développer un important marché captif.

La présente étude ne fournit pas de données suffisantes pour décider de l'avenir de l'EACL ou du programme CANDU. Il faudrait une analyse beaucoup plus vaste permettant de dégager les différentes perspectives d'avenir de l'énergie nucléaire. La présente étude de l'EACL nous amène à conclure qu'une société d'État n'est pas la formule qui convienne le mieux à la recherche dynamique d'un avantage relatif sachant que la commercialisation doit être effectuée dans le contexte d'une concurrence mondiale où interviennent des entreprises privées et des entreprises publiques subventionnées par d'autres gouvernements. Il faudrait étudier plus à fond la possibilité d'accorder à des entreprises privées l'aide publique prévue pour la commercialisation des technologies nouvelles.

Notes

Chapitre 4

1 Dans une communication privée, le professeur D. A. Meneley a contesté cette affirmation. À son avis, toute tentative de vendre un réacteur CANDU aux États-Unis aurait été contrecarrée par les autorités américaines qui accordaient les permis. Les technologies qui n'avaient pas l'approbation de la marine américaine, de Westinghouse et de General Electric étaient rejetées. C'était peut-être le cas, mais le fait demeure que je n'ai trouvé aucune preuve des efforts déployés durant les années 60 pour surmonter le « nationalisme commercial » des États-Unis dans ce secteur, soit par des pressions du gouvernement, soit par des subventions aux ventes en Europe, en Allemagne par exemple, ou encore par la recherche de partenaires pour internationaliser la mise au point du CANDU.

Chapitre 5

1 Don McFetridge me signale que je ne précise pas du tout quel serait le taux d'actualisation réel le plus approprié. Tout au long de la présente étude, j'utilise un taux réel de 7,5 %, qui correspond au taux d'actualisation social retenu également par le ministère de l'Énergie, des mines et des ressources (EMR, 1981*b*; et 1982). Il est normal qu'une certaine confusion entoure les taux d'actualisation, étant donné que l'OCDE fixe à 5 % et à 10 % les taux qu'elle utilise. Hydro-Ontario prévoit habituellement dans ses études des taux d'intérêt et des prix nominaux, à partir desquels on déduit le taux d'actualisation réel. Au cours de la même période, Hydro-Ontario a utilisé dans une de ses études un taux réel aussi bas que 2 %. Dans les années 60, la France appliquait un taux étalon de 9 % dans son évaluation des investissements au titre de la capacité de production d'électricité. Étant donné que tant de taux divers ont servi à évaluer la rentabilité du processus de production d'énergie, il ne faut pas s'étonner si une certaine confusion entoure le coût réel de l'énergie nucléaire.

Chapitre 6

1 Il est vrai, comme l'a fait remarquer un lecteur de la présente étude, que la subvention à Hydro-Ontario comprend une disposition pour indemniser les victimes d'un accident nucléaire. La *Loi sur la responsabilité nucléaire* (juin 1970) prévoit un montant maximal qu'une entreprise de services publics et un fabricant de réacteur peuvent être tenus de verser en cas d'accident nucléaire. La part de cette subvention est certainement importante, mais également difficile à établir. Dans la présente étude, cette part de la subvention n'est pas prise en considération parce qu'elle est utile seulement dans une comparaison des coûts de production de l'électricité par une centrale nucléaire ou par une centrale thermique à charbon. Puisque le réacteur à eau légère est la technologie la plus avantageuse qui puisse remplacer le réacteur CANDU en Ontario, la subvention accordée par le gouvernement du Canada pour l'assurance serait applicable dans les deux cas et elle n'influerait pas sur une analyse comparative à moins qu'une filière ne soit essentiellement plus sûre que l'autre, caractéristique que les défenseurs de la technologie CANDU contesteraient. Il faut néanmoins admettre que tout avantage économique que peut présenter une technologie nucléaire par rapport à une centrale thermique à charbon doit être rajusté à la baisse, en fonction de la valeur estimée de l'assurance fournie gratuitement par les contribuables canadiens et involontairement par ceux qui habitent à proximité d'une centrale nucléaire.

Liste des tableaux et graphique

Tableaux

3-1 Le programme national de production nucléaire d'électricité du Canada 18
3-2 Résumé des ventes à l'exportation, par pays 21
4-1 Dépenses du gouvernement fédéral pour le financement des travaux de recherche appliquée relatifs à l'énergie nucléaire, Canada, 1947-1982 29
4-2 Capacité de production d'eau lourde au Canada 31
4-3 Croissance de la capacité nucléaire aux États-Unis, 1955-1976 35
4-4 Pertes estimées enregistrées pour des projets clés en main de réacteurs nucléaires 36
4-5 Coûts en capital de réacteurs nucléaires mis en exploitation aux États-Unis, 1968-1974 37
4-6 Comparaison de l'évolution chronologique de la technologie nucléaire dans différents pays (mise au point, démonstration et diffusion) 40
4-7 Estimation de l'utilisation de la capacité de production de réacteurs nucléaires dans le monde durant les années 80 42
4-8 Part du marché des réacteurs nucléaires, selon l'entreprise, 1980 43
5-1 L'évolution des projections de la capacité de production d'énergie nucléaire jusqu'en 1985 et 1990 53
5-2 Capacité de production d'énergie nucléaire installée nette, réelle et prévue, par pays, certaines années, 1978-2000 54
5-3 Comparaison entre les prévisions de commandes de réacteurs nucléaires en Ontario et la capacité de production du marché international jusqu'à l'an 2000 55
5-4 Rapports hypothétiques entre le coût d'utilisation du charbon et le coût d'utilisation de l'énergie nucléaire pour des fins de production d'électricité, Hydro-Ontario 60
6-1 Dépenses du gouvernement fédéral pour financer la construction d'usines et la production d'eau lourde 62
6-2 Apport financier du gouvernement fédéral aux réacteurs nucléaires commerciaux au Canada : dépenses, remboursements et sommes à payer 63
6-3 Dépenses du gouvernement fédéral au titre des réacteurs prototypes 64
6-4 Coûts et avantages d'un réacteur CANDU par rapport à une centrale thermique à charbon et à un réacteur à eau légère, pour l'Ontario et le Canada 65

Graphique

4-1 Scénarios de la capacité et de la demande de pointe du réseau de l'est de l'Ontario 41

Bibliographie

ADDINALL, A et H. ELLINGTON (1982), *Nuclear Power in Perspective*, Londres (Angleterre), Kogan Page Publishers.

AHEARNE, J. F. (1984), « Prospects for the U.S. nuclear reactor industry », *Annual Review of Energy*, vol. 8, pp. 355-384.

AIKEN, A. M. (1970), « Marketing nuclear power plants », conférence annuelle de l'Association nucléaire canadienne, 70-CNA-647.

ALBERTA WHITE PAPER (1984), *Proposals for an Industrial and Science Strategy for Albertans, 1985-1990*, juillet.

ALCHIAN, A. A. et H. DEMSETZ (1972), « Production, information costs and economic organizations », *American Economic Review*, vol. LXIII, pp. 777-795.

ALLISON, D. (1969), *The R&D Game*, Cambridge (Mass.), MIT Press.

ALLISON, G. T. (1971), *Essence of Decision, Explaining the Cuban Missile Crisis*, Boston, Little, Brown and Company.

ALWARD, P. T. (1981), *CANDU – Ventes et garanties*, Ottawa, Bibliothèque du Parlement, le 26 mai.

ANDERSON, A. (1984), « Lawsuit dismissed » et « Operation of power plants », *Nature*, vol. 31, n° 5976, le 2 août, p. 357.

ANDREWS, R. (1982), « Power failure: Why we can't sell nuclear », *Canadian Business*, vol. 55, n° 11, novembre, pp. 133-136.

ASHLEY, C. A. et R. G. H. SMAILS (1965), *Canadian Crown Corporations: Some Aspects of Their Administration and Control*, Toronto, Macmillan.

ASSOCIATION NUCLÉAIRE CANADIENNE (1982), *L'énergie nucléaire au Canada – Questions et réponses*, 2e éd., Toronto, CNA Publishers.

BACHAND, R. C. (1981), « Boards of Directors in Canadian government enterprises: An exploratory research », thèse de doctorat, Graduate School of Business Administration, Harvard University, Ann Arbor (Michigan), University Microfilms International, 1984.

BAINBRIDGE, G. R., D. PAHLEY, D. T. H. ROWLANDS et C. V. WAGSTAFF (1968), « Factors affecting costs of nuclear power stations », *International Comparison of Nuclear Power Costs*, Vienne, Agence internationale de l'énergie atomique, pp. 139-154.

BALDWIN, J. R. (1975), *The Regulatory Agency and the Public Corporation*, Cambridge (Mass.), Ballinger Publisher.

______ (1984), « Regulation versus public enterprise as an instrument of government policy: A transactions failure analysis », Queen's University, Kingston (Ontario), reprographié.

BANERJEE, S. et L. WAVERMAN (1978), « Life cycle costs of coal and nuclear generating stations », rapport présenté à la Commission royale sur la planification de l'énergie électrique, Toronto, juillet.

BARKENBUS, J. N. (1983), « Is self-regulation possible? », *Journal of Policy Analysis and Management*, vol. 2, été, pp. 576-588.

BEIGIE, C. E. et J. MAXWELL (1977), « Les points faibles de la situation énergétique au Québec », l'Institut de recherches C. D. Howe, Montréal, Accent Québec.

BERLE, A. A., Jr. et G. C. MEANS (1982), *Modern Corporations and Private Property*. Reprint of 1933 edition, xiii, 396 pages. Business Enterprises Reprint Services.

BORINS, S. F. et B. BOOTHMAN (1984), « Les sociétés d'État et l'efficacité économique », document d'information à paraître dans le cadre de la Commission royale sur l'union économique et les perspectives de développement du Canada, vol. 3.

BOS, D. (1981), Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, *Economic Theory of Public Enterprise*, Berlin, Heidelberg et New York.

BRADFORD, D. L. et A. R. COHEN (1984), *Managing for Excellence*, New York, John Wiley.

BRADY, R. (1984), « The sorcerer's apprentice », *Forbes*, le 24 septembre, pp. 106 et 110.

BRODY, M. (1981), « Nuclear fizzle? Costs, risks of atomic power may escalate past point of no return », *Barron's*, vol. 61, le 24 août, pp. 4-5.

BROOKES, L. G. et M. MOTAMEN, ed. (1984), *The Economics of Nuclear Energy*, Londres et New York, Chapman and Hall.

BRUCE, G. F. (1975), « Le salut ou l'apocalypse – Le dilemme des puissances nucléaires », *Perspectives internationales*, mai-juin, pp. 31-36.

BUGLER, J. (1976), « Windscale's fuel controversy », *New Statesman*, vol. 92, le 26 novembre, pp. 740-741.

______ (1977*a*), « Nuclear politics in France », *New Statesman*, le 26 août, pp. 266-267.

______ (1977*b*), « Nuclear civil war », *New Statesman*, vol. 94, le 4 novembre, pp. 603-604.

BUPP, I. C. (1980), « The French nuclear harvest: Abundant energy or bitter harvest? », *Technology Review*, novembre-décembre, pp. 30-39.

______ (1981), « The actual growth and probable future of the worldwide nuclear industry », *International Organization*, vol. 35, n° 1, hiver, pp. 54-76.

BUPP, I. C. et J.-C. DERIAN (1978), *Light Water: How the Nuclear Dream Dissolved*, New York, Basic Books.

BURN, D. (1978), *Nuclear Power and the Energy Crisis: Politics and the Atomic Industry*, Londres, Macmillan.

BURN, D. et B. EPSTEIN (1972), *Realities of Free Trade: Two Industry Studies*, Toronto, University of Toronto Press et George Allen and Unwin Ltd.

BURNS, J. M. F. (1980), « A public choice theory perspective of the Canadian nuclear industry », thèse, Université Carleton, Ottawa.

BURNS, T. et G. M. STALKER (1971), *The Management of Innovation*, 3e éd., Londres, Tavistock Publications.

BUSINESS WEEK (1980), « Downsizing nuclear plants », n° 2662, le 10 novembre, p. 114.

______ (1981), « France: A two-pronged spur for nuclear reactor », le 23 février, pp. 50-52.

______ (1981), « Germany's turning point for nuclear energy? », le 23 février, pp. 50-52.

______ (1982), « A breeder reactor that may melt away », le 6 septembre, pp. 30-31.

______ (1984), « Are utilities obsolete? A troubled system faces radical change », le 21 mai, pp. 116-119.

BUZZELL, R. D., B. T. GALE et R. G. M. SULTAN (1975), « Market share – A key to profitability », *Harvard Business Review*, janvier-février, pp. 97-106.

CAMILLERI, J. A. (1982), *The Political Economy of Nuclear Power: Comparative Study*, Londres, Wheatsheaf Books.

______ (1984), *The State and Nuclear Power: A Comparative and International Perspective*, Seattle, University of Washington Press.

CAMPBELL, H. F. (1982), « A benefit-cost rule for an additional public project in Canada », thèse de doctorat, Queen's University, Kingston (Ontario).

CANADA, COMMISSION ROYALE SUR L'UNION ÉCONOMIQUE ET LES PERSPECTIVES DE DÉVELOPPEMENT DU CANADA (1985), *Rapport*, vol. 1, 2 et 3, Ottawa, Approvisionnements et Services Canada.

CANADA, GROUPE DE TRAVAIL SUR LES POLITIQUES ET LES PROGRAMMES FÉDÉRAUX DE DÉVELOPPEMENT TECHNOLOGIQUE (1984), *Rapport* du président Douglas Wright à Edward C. Lumley, ministre d'État, Ottawa, Approvisionnements et Services Canada.

CANADA, MINISTÈRE DE L'ÉNERGIE, DES MINES ET DES RESSOURCES (1973), *Politique canadienne de l'énergie, phase I*, tome I, *Analyse* et tome II, *Annexes*, Ottawa, Information Canada.

_____ (1978), *Une stratégie de l'énergie pour le Canada, politique d'autonomie*, Ottawa, Approvisionnements et Services Canada.

_____ (1981*a*), *L'énergie, rétrospection*, rapport n° ER81-4F, avril, Ottawa, EMR.

_____ (1981*b*), *Aperçu de la politique nucléaire, documents d'information*, rapport n° ER81-2F, Ottawa, Approvisionnements et Services Canada.

_____ (1982), *Revue de l'industrie nucléaire, problèmes et perspectives, 1981-2000*, Ottawa, Approvisionnements et Services Canada.

CANADA, MINISTÈRE DES FINANCES (1984), *Une nouvelle direction pour le Canada*, Ottawa, Finances Canada.

CANADA, MINISTÈRE DE L'INDUSTRIE ET DU COMMERCE (1978), *Rapport du Groupe d'étude sur l'exportation des réacteurs CANDU (Rapport Douglas)*, Ottawa, Industrie et Commerce.

CARMICHAEL, J. (1981), « The effects of mission-oriented public R&D spending on private industry », *The Journal of Finance*, vol. 36, juin, pp. 617-627.

CASTERTON, J. A. (1980), « The international dimensions of the Canadian Nuclear Industry », thèse de maîtrise, Norman Paterson School of International Affairs, Université Carleton, Ottawa.

CAVANAUGH, H. A. (1984), « How do private and public CEO salaries compare? », *Electrical World*, août, pp. 27-29.

CAVES, D. W. et L. R. CHRISTENSEN (1980), « The relative efficiency of public and private firms in a competitive environment: The case of Canadian railroads », *Journal of Political Economy*, vol. 88, n° 5, pp. 953-976.

CHASE, D. J. (1975), « Clouding the nuclear reactor debate: A commentary », *Bulletin of the Atomic Scientists*, février, pp. 39-40.

CHOW, B. G. (1977), « The economic issues of the Fast Breeder Reactor Program », *Science*, le 11 février, pp. 551-556.

CICHETTI, J. et W. J. GILLEN (1977), Commission de l'énergie de l'Ontario, n° 11, information présentée par Hydro-Ontario au nom du Procureur général de l'Ontario, Toronto, le 16 mai.

CLARKSON, K. et D. L. MARIN, [ed. de la série] (1980), « The economics of nonproprietary organizations », supplément 1, dans *Research in Law and Economics*, Greenwich (Conn.), JAI Press.

COCHRAN, T. B. (1974), *The Liquid Metal Fast Breeder Reactor: An Environmental and Economic Critique*, Resources for the Future, Washington (D.C.), U.S. Government Printing Office.

COLLINGRIDGE, D. (1984*a*), « Lessons of nuclear power: French 'success' and the breeder », *Energy Policy*, juin, pp. 189-200.

______ (1984*b*), « Lessons of nuclear power: U.S. and U.K. history », *Energy Policy*, mars, pp. 46-67.

COMMISSION MACDONALD (1985), (voir Commission royale sur l'union économique et les perspectives de développement du Canada).

CONSEIL DES SCIENCES DU CANADA (1979), *Les voies de l'autosuffisance énergétique – Les démonstrations nécessaires sur le plan national*, Ottawa, Approvisionnements et Services Canada.

COOK, F. H. (1969), « Public ownership: United Kingdom vs. United States », *Public Utilities Fortnightly*, vol. 84, le 18 décembre, pp. 26-34.

COOK, J. (1985), « Nuclear follies », *Forbes*, vol. 135, le 11 février, pp. 82-96.

COTTRELL, Sir Alan (1981), *How Safe is Nuclear Energy?*, Londres (Angleterre), Heineman Educational Books Ltd.

CREW, M. A. (1983), *Regulatory Reform and Public Utilities*, Lexington (Mass.), Lexington Books.

DAY, M. C. (1975), « Nuclear energy: A second round of questions », *Bulletin of the Atomic Scientist*, décembre, pp. 52-59.

DEALESSI, L. (1969), « Implications of property rights for government investment choices », *American Economic Review*, vol. 59, pp. 13-24.

______ (1974*a*), « An economic analysis of government ownership and regulation: Theory and the evidence from the electric power industry », *Public Choice*, vol. 19, automne, pp. 1-42.

______ (1974*b*), « Managerial tenure under private and government ownership in the electric power industry », *Journal of Political Economy*, vol. 82, mai-juin, pp. 645-653.

______ (1975), « Some effects of ownership on wholesale prices of electric power », *Economic Inquiry*, vol. 13, décembre, pp. 526-538.

DELEON, P. A. (1976), *Cross Comparison of Nuclear Development Strategies*, Santa Monica (CA.), Rand Corporation, p. 20.

______ (1980), *Development and Diffusion of the Nuclear Power Reactor: A Comparative Analysis*, Cambridge (Mass.), Ballinger Publishing.

DENTON, H. R. (1983), « Nuclear power, epilogue or prologue? », *Energy Journal*, n° 4, janvier, pp. 139-141.

DICKSON, David (1982), « Europe's fast breeders move to a slow track », *Science*, vol. 218, le 10 décembre, pp. 1094-1097.

______ (1984), « France invites U.S. participation on breeders », *Science*, vol. 224, le 18 mai, p. 697.

DICKSON, Douglas, ed. (1983), *Managing Effectively in the Global Marketplace*, New York, John Wiley.

DOERN, B. G. (1976), *La Commission de contrôle de l'énergie atomique*, étude effectuée pour la Commission de réforme du droit, chapitres 2 et 3, Ottawa, Approvisionnements et Services Canada.

______ (1980), Canadian Atomic Energy Policy, *Government Intervention in the Canadian Nuclear Industry*, Montréal, Institut de recherches politiques.

______ (1984), « Atomic Energy of Canada Ltd.: Selected performance issues », document présenté au symposium sur les sociétés de la Couronne, Université Carleton, Ottawa, le 1er juin.

DOERN, B. G. et R. W. MORRISON, ed. (1980), *Canadian Nuclear Policies*, document présenté à une conférence en novembre 1978, Montréal, Institut de recherches politiques.

DOERN, B. G. et G. SIMS (1980), « Atomic Energy of Canada Ltd. », chapitre 2 de « Spending tax dollars: Federal expenditures, 1980-1981 », préparé sous la direction de Bruce G. Doern, School of Public Administration, Université Carleton, Ottawa, pp. 49-73.

DONALDSON, G. et J. W. LORSCH (1983), *Decision Making at the Top*, New York, Basic Books Inc.

DOUB, W. O. et J. M. DUKERT (1975), « Making nuclear energy safe and secure », *Foreign Affairs*, vol. 53, juillet, pp. 756-762.

DOUGLAS, C. (1984), « The economics of contamination », *The Atlantic*, octobre, pp. 29-36.

DUDERSTADT, J. J. et C. KIKUCHI (1979), *Nuclear Power Technology on Trial*, Ann Arbor, University of Michigan Press.

DUFFY, G. C. et G. ADAMS (1978), « Power politics: The nuclear industry and nuclear exports », *Council on Economic Priorities*, Washington (D.C.), U.S. Government Printing Office.

DUFFY, J. (1980), « Can the slowpoke do what CANDU can't? », *Canadian Business*, vol. 53, n° 8, août, pp. 27-32.

ÉNERGIE ATOMIQUE DU CANADA, LIMITÉE [EACL] (1968), Mémoire présenté au Comité spécial du Sénat sur la politique scientifique, *Délibérations du Comité spécial du Sénat sur la politique scientifique*, les 30 et 31 octobre, pp. 647-1047. Ce document contient aussi un mémoire de l'Eldorado nucléaire Ltée, p. 893.

_____ (1983), Modes de gestion et de contrôle, politique n° 10302, novembre.

_____ (1985), Plan de développement de cadre supérieur, politique n° 20102, mars.

EDWARDS, G. (1982), (président de la Canadian Coalition for Nuclear Responsibility), « Cost disadvantages of expanding the nuclear power industry », *The Canadian Business Review*, vol. 8, n° 1, printemps.

EFFORD, I. E. et B. M. SMITH, ed. (1971), *Energy and the Environment*, H.R. MacMillan lectures, Institute of Resource Ecology, Université de Colombie-Britannique, Vancouver.

EGAN, J. R. (1981), « Nuclear power: The future of small reactors », *Current*, vol. 241, mars-avril, pp. 31-35.

EGGLESTON, W. (1965), *Canada's Nuclear Story*, Toronto, Clark Irwin.

ELLIS, R. P. et M. B. ZIMMERMAN (1983), « What happened to nuclear power: A discrete choice model of technology adoption », *The Review of Economics and Statistics*, vol. 65, mai, pp. 234-242.

EMR (voir Canada, Ministère de l'Énergie, des mines et des ressources).

ÉTATS-UNIS, DEPARTMENT OF COMMERCE (1982), « French reaffirm commitment to development of nuclear power », *Business America*, vol. 5, n° 21, le 18 octobre.

ÉTATS-UNIS, DEPARTMENT OF ENERGY (1982), « Analysis of the Department of Energy's Clinch River breeder reactor cost estimates », Washington (D.C.).

_____ (1983), « Completing the Department of Energy's water-cooled breeder program », Report to Energy Research and Production, Committee on Science and Technology, House of Representatives, Washington (D.C.), U. S. General Accounting Office.

ÉTATS-UNIS, GENERAL ACCOUNTING OFFICE, « Questions on the future of nuclear power: Implications and tradeoffs. » Washington (D.C.).

ÉTATS-UNIS, NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES, Office of Information (1979), « Risks associated with nuclear power: A critical review of the literature », Washington (D.C.).

ÉTATS-UNIS, STANDING SENATE COMMITTEE ON NATIONAL FINANCE (1984), *Federal Government Support for Technological Advancement: An Overview*, Report of the Honourable C. William Doody, président, Washington (D.C), U.S. Government Printing Office.

EVANS, N. et C. HOPE (1983), *Nuclear Power, Futures, Costs and Benefits*, Cambridge (Mass.), Cambridge University Press.

FAGNANI, J. et J.-P. MOATTI (1984), « The politics of French nuclear development », *Journal of Policy Analysis and Management*, vol. 3, hiver, pp. 264-275.

FISCHHOFF, B. (1983), « 'Acceptable risk': The case of nuclear power », *Policy Analysis and Management*, vol. 2, été, pp. 559-575.

FLAVIN, C. (1984*a*), *Electricity's Future: The Shift to Efficiency and Small-Scale Power*, Worldwatch Paper 61, Worldwatch Institute, Washington (D.C.).

_____ (1984*b*), « Reassessing the economics of nuclear power », *Interciencia*, vol. 9, juillet-août, pp. 192-205.

FLEMING, J. (1984), « CANDU's Turkish connection », *Maclean's*, octobre, p. 36.

FONG, J. V. C.; J. B. ROY; G. N. MEEHAND et G. F. MCINTYRE (1982), *Cost Comparison of CANDU Nuclear and Coal-Fulled Generating Stations*. Rapport n° 620SP, Toronto, Hydro-Ontario.

FORD FOUNDATION (1974), *Exploring Energy Choices*, Energy Policy Project, Washington (D.C.), U.S. Government Printing Office.

_____(1979), *Energy: The Next Twenty Years*, Cambridge (Mass.), Ballinger Publishing.

FORD, D. (1982), *Cult of the Atom*, New York, Simon and Schuster.

FORD, D. et coll. (1973), *The Nuclear Fuel Cycle: A Survey of the Public Health, Environment and National Security Effects of Nuclear Power*, Union of Concerned Scientists, Cambridge (Mass.).

FORD-MITRE REPORT (1977), Nuclear Energy Policy Study Group, *Nuclear Power: Issues and Choices*, Cambridge (Mass.), chapitres 8 et 9, Ballinger Publishing.

FOREMAN-PECK J. et M. WATERSON (1985), « The comparative efficiency of public and private enterprise in Britain: Electricity generation between the wars », *Economic Journal*, vol. 95, mars, pp. 83-95.

FORTUNE, R. F. (1978), « Canadian experience in the international nuclear power market », International Comparison of Nuclear Costs, Proceedings of International Atomic Energy Agency Symposium, Londres (Angleterre), octobre 1976, Vienne, Agence internationale de l'énergie atomique, pp. 155-171.

FREEMAN, S. D. (1983), « Reinventing the nuclear wheel », *Across the Board*, octobre, pp. 30-34.

GENERATION NUCLEAR (1977), mémoire présenté à la Commission royale sur la planification de l'énergie électrique, dernières audiences, juin.

GOLAY, M. W. (1984), « Rx for nuclear power: An agenda for improving present-day reactors », *Technology Review*, vol. 87, février-mars, pp. 49-51.

GOLDSCHMIDT, B. (1980), *Le complexe atomique, histoire politique de l'énergie nucléaire*, Paris, Fayard.

GORDON, M. (1981), *Government in Business*, Montréal, Institut de recherches C. D. Howe, chapitre 6, pp. 169-179 et 186-191.

GOULD, J. M. (1984), « The future of nuclear power », *Monthly Review*, vol. 35, février, pp. 7-14.

GRANLI, L. et coll., *Nuclear Power and Safety*, New York, Columbia University Press.

GREEN, R. E. et R. M. WILLIAMS, *Nuclear Energy – One Road to Self-Sufficiency*, Énergie atomique du Canada, Limitée, rapport EACL-6963, Ottawa.

GRILICHES, Z. (1979), « Issues in assessing the contribution of research and development to productivity growth », *Bell Journal of Economics*, vol. 10, n° 1, pp. 92-116.

GUMMER, W. K. (1982), *Réglementation de l'industrie nucléaire canadienne*, Ottawa, Commission de contrôle de l'énergie atomique.

HARRIS, R. G. (1984), « Le commerce, la politique industrielle et la concurrence internationale », rapport préparé pour la Commission royale sur l'union économique et les perspectives de développement du Canada, février.

HELLMAN, R. et C. J. C. HELLMAN (1983), *The Competitive Economics of Nuclear and Coal Power*, Lexington (Mass.), Lexington Books.

HILL, P. G. (1977), *Power Generation: Resources, Hazards, Technology, and Costs*, Cambridge (Mass.), MIT Press.

HINTON, C. (1955), « The graphite moderated gas cooled pile », *Power Reactors*, vol. 3, New York, Nations Unies.

HIRSHHORN, R. (1984), « Government enterprise and organizational efficiency », Ottawa, Conseil économique du Canada, reprographié.

HOME OIL COMPANY LIMITED (1969), « Energy demand forecast: Canada (Ontario and Quebec), 1970-1985 », préparé par la Home Oil Company Limited avec l'aide de Purvin and Gertz Inc. de Dallas (Texas).

HOOKER, C. A., R. MACDONALD, R. VAN HULST et P. VICTOR (1981), *Energy and the Quality of Life: Understanding Energy Policy*, Toronto, University of Toronto Press.

HOYLE, F. (1979), *Énergie ou extinction*, Paris, Buchet Chastel.

HUG, M. (1981), « How the French program is benefiting from standardization », *Nuclear Engineering International*, vol. 26, juillet, pp. 29-32.

HUNT, C. D. (1977), « Canadian policy and the export of nuclear energy », *University of Toronto Law Journal*, vol. 17, pp. 69-104.

HYDRO-ONTARIO (1981), rapport n° 5955, janvier, Toronto.

______ (1982), rapport 620SP (voir Fong et coll., 1982), *Cost Comparison of CANDU Nuclear and Coal-Fuelled Generating Stations*, Toronto, Hydro-Ontario.

______ (1983*a*), rapport NGD-9, Toronto.

______(1983*b*), rapport NGD-10, « Economics of CANDU-PHW », Toronto.

______ (1983*c*), rapport NGD-12, « World nuclear power reactor performance », Toronto.

HYDRO-QUÉBEC (1980), *Une stratégie pour la décennie 80*, Montréal, Hydro-Québec, le 16 décembre.

INTERNATIONAL CURRENCY REVIEW (1981), « Nuclear export policies of major nations », vol. 13, pp. 66-70.

JACKSON, H. A., L. W. WOODHEAD et G. R. FANJOY (1983), « Economics of CANDU-PHW », rapport NDG-10, Toronto, Hydro-Ontario.

JAUCH, L. R. A. (1983), « A descriptive inventory of some cutting edge research on strategic management », Southern Illinois University-Carbondale, reprographié.

JENKINS, G. P. (1980), « Public utility finance and economic waste », Harvard Institute for International Development, Université Harvard, reprographié.

JENNEKENS, J. H. F. (1979), « Nuclear energy in Canada: In search of the definitive inquiry », document présenté à la société des ingénieurs de l'Énergie atomique du Canada, Limitée, établissement de recherches nucléaires de Whiteshell, Pinawa (Manitoba), le 4 octobre, Ottawa, Commission de contrôle de l'énergie atomique.

JENSEN, M. C. et R. S. RUBACK (1983), « The market for corporate control: The scientific evidence », *Journal of Financial Economics*, avril.

JENSEN, M. C. et C. W. SMITH, Jr., ed. (1984), *The Modern Theory of Corporate Finance*, New York, McGraw-Hill.

JENSEN, M. C. et J. L. ZIMMERMAN, ed. (1985), « Symposium on management compensation and the managerial labor market in honor of William H. Meckling », *Journal of Accounting and Economics*, vol. 7, avril.

JOSKOW, P. L. (1976), « The international nuclear industry today », *Foreign Affairs*, vol. 54, n° 4, 1975-1976, pp. 788-803.

______ (1977), « Commercial impossibility: The uranium market and the Westinghouse case », *Journal of Legal Studies*, vol. 6, janvier, pp. 119-176.

JOSKOW, P. L. et G. ROZANSKI (1979), « The effects of learning by doing on nuclear plant operating reliability », *Review of Economics and Statistics*, vol. 61, n° 2, mai, pp. 161-168.

JOSKOW, P. L. et R. SCHMALENSEE (1983), *Markets for Power: An Analysis of Electric Utility Deregulation*, Cambridge (Mass.), MIT Press.

KAKU, M. et J. TRAINER (1982), *Nuclear Power: Both Sides*, New York, W. W. Norton & Co.

KAMIEN, M. I. et N. L. SCHWARTZ (1982), *Market Structure and Innovation*, Cambridge (Mass.), Cambridge University Press.

KAY, N. M. (1982), *The Evolving Firm*, New York, St. Martin's Press.

KECK, O. (1980), « Government policy and technical choice in the West German Reactor Programme », *Research Policy*, vol. 9, p. 335.

KEELEY, J. F. (1980), « Canadian nuclear export policy and the problems of proliferation », *Analyse de politiques*, vol. 6, automne pp. 614-627.

KIKUNSKI, J. M., W. D. KAY et D. S. METLAY (1982), « Citizen knowledge and choices on the complex issue of nuclear energy », *American Journal of Political Science*, vol. 76, pp. 615-642.

KNELMAN, F. H. (1976), *Nuclear Energy: The Unforgiving Technology*, Edmonton, Hurtig Publications.

KNOX, R. (1981), « CANDU and power costs compared in Canada », *Nuclear Engineering International*, vol. 26, août, pp. 25-26.

KOMONOFF, C. (1977), *Power Plant Cost Escalation: Nuclear and Coal Capital Costs, Regulation and Economics*, New York, Komonoff Energy Association.

KREUGER, A. O. (1974), « The political economy of the rent-seeking society », *American Economic Review*, vol. 64, pp. 291-303.

LANGFORD, W. J. et H. K. RAE (1980), « Some highlights of R&D at AECL », rapport AECL-6954, Ottawa.

LANOUETTE, W. J. (1980), « The 'CANDU' reactor from Canada – Can it do the job down here? », *National Journal*, vol. 12, le 28 juin, pp. 1061-1063.

LEBLOND, D. (1980), « Taking the lead in nuclear power », *Petroleum Economist*, vol. 47, février, pp. 52-54.

______ (1984), « European energy report », *Petroleum Economist*, vol. 51, février, pp. 62-63.

LECRAW, D. J. (1984*a*), « Industry decline and growth: Industrial policy and corporate strategy », rapport préparé pour la Commission royale sur l'union économique et les perspectives de développement du Canada, février (révisé en mai 1984).

______ (1984*b*), « La politique industrielle aux États-Unis – Un tour d'horizon », rapport préparé pour la Commission royale sur l'union économique et les perspectives de développement du Canada, février 1984 (révisé en juin 1984).

LEGAULT, A. (1976), « Les ambiguïtés de la politique nucléaire du Canada », *Perspectives internationales*, janvier-février, pp. 9-14.

______ (1978), « Le problème des garanties nucléaires », *Perspectives internationales*, juillet-août, pp. 22-26.

LENY, J. C. (1979), « Single suppliers chosen for efficiency », *Nuclear Engineering International*, mars, pp. 54-62.

LEONARD AND PARTNERS (1978), « L'impact économique de l'industrie de l'énergie nucléaire au Canada, sommaire administratif », Association nucléaire canadienne, Ottawa.

LESTER, R. (1983), « Japan's lead in nuclear power », *The Wall Street Journal*, le 16 novembre, p. 30.

______ (1984), « Rx for nuclear power: The need for nuclear innovation », *Technology Review*, vol. 87, février-mars, pp. 45-48.

LICHTENBERG, F. R. (1984), « The relationship between federal contract R&D and company R&D », *American Economic Review*, vol. 74, mai, pp. 73-78.

LIDSKY, L. M. (1984), « Rx for nuclear power: The reactor of the future? », *Technology Review*, vol. 87, février-mars, pp. 52-56.

LILIENTHAL, D. E. (1980), *Atomic Energy: A New Start*, New York, Harper and Row.

LONROTH, M. et W. WALKER (1979), « The viability of the civilian nuclear industry », International Consultative Group on Nuclear Energy, parrainé conjointement par la Rockefeller Foundation et le Royal Institute on International Affairs, New York et Londres, respectivement.

LORTIE, P. et R. SCHWEITZER (1981), *Une stratégie pour le développement et le renforcement de l'industrie nucléaire canadienne*, rapport final, Montréal, Secor Inc.

LUCAS, A. R. et T. BELL (1977), *L'Office national de l'énergie – Ses politiques, sa procédure, ses pratiques*, rapport préparé pour la Commission de réforme du droit du Canada, Ottawa, Approvisionnements et Services Canada.

LUCE, C. F. (1983), « Where is the electric utility industry headed in the 1980s? », *Public Utilities Fortnightly*, le 23 juin, pp. 15-19.

LYNEIS, J. M. et D. M. GERAGHTY (1984), « Electric utility strategies for the eighties: Taking advantage of a 'window of opportunity' », *Public Utilities Fortnightly*, le 24 mai, pp. 17-23.

MACKENZIE, J. J. (1984), « Rx for nuclear power: Finessing the risks of nuclear power », *Technology Review*, vol. 87, février-mars, pp. 34-44.

MACNABB, G. M. (1979), *Politiques de l'énergie nucléaire*, compte rendu du Congrès annuel de l'Association nucléaire canadienne, p. 20.

MALATESTA, P. H. (1983), « The wealth effect of merger activity and the objective functions of merging firms », *Journal of Financial Economics*.

MANSFIELD, E. et L. SWITZER (1984), « Effects of federal support on company financed R&D: The case of energy », *Journal of Management Science*.

MARCUS, G. M. (1983), « Japan Inc. and nuclear power », *Public Utilities Fortnightly*, vol. 5, n° 112, le 29 septembre, pp. 40-42.

MARSCHAK, J. et S. H. SCHURR, ed. (1950), *Economic Aspects of Atomic Power*, Cowles Commission for Research in Economics, Princeton, Princeton University Press.

MARSHALL, E. (1982), « The perils of Clinch River », *Science*, vol. 218, octobre, pp. 137-138.

______ (1984), « The secret recipe of GE's reactor safety study », *Science*, vol. 225, juillet, p. 294.

MARTENSSON, M. (1968), « A statistical analysis of the construction costs of a nuclear power plant », International Comparison of Nuclear Power Costs, compte rendu d'un symposium tenu à Londres en octobre 1967, Vienne, Agence internationale de l'énergie atomique, pp. 125-128.

MARTINO, J. P. (1983), *Technological Forecasting for Decision Making*, 2e éd., Amsterdam, New York, Oxford, North-Holland.

MASELLA, I. M. (1984), « Rate moderation plans – Cushioning rate shock », *Public Utilities Fortnightly*, vol. 113, février, pp. 52-56.

MATHER, J. P. (1983), « World nuclear power reactor performance », rapport NGD-12, Toronto, Hydro-Ontario.

MATSUDA, Y. (1984), « Nuclear power in Japan: Present and future », *Journal of Japanese Trade and Industry*, vol. 6, novembre-décembre, pp. 12-26.

MCFETRIDGE, D. G. (1984), Some Thoughts on Crown Corporations: A Discussion of Issues Raised at the Symposium on Crown Corporation Performance, reprographié.

______ (1985), « L'efficacité commerciale et politique – Une comparaison entre la société d'État, l'entreprise d'économie mixte et l'entreprise privée », rapport préparé pour la Commission royale sur l'union économique et les perspectives de développement du Canada, Ottawa, reprographié.

MCINTYRE, H. (1979), « Conflicting estimates create uncertainties for CANDU », *Energy International*, vol. 16, mai, pp. 28-30.

MEYER, M. B. (1984), « Nuclear power plant cost underestimation: Mechanisms and corrections », *Public Utilities Fortnightly*, vol. 113, février, pp. 28-31.

MILES, R. E. et C. C. SNOW (1978), *Organizational Strategy, Structure, and Process*, New York, McGraw-Hill.

MILLER, S. A. (1978), « A nuclear difference: At stake is Europe's energy supply and/or the future of mankind », *European Community*, mai-juin, pp. 30-33.

MILLS, M. P. et R. STARR (1983), « France declares energy independence », *Across the Board*, vol. 20, n° 3, mars, New York, The Conference Board Inc.

MILNE, R. et F. PEARCE (1983), « Why Britain said 'No CANDU' », *New Scientist*, vol. 98, janvier, p. 614.

MONTGOMERY, D. W. et J. P. QUIRK (1976), « Cost escalation in nuclear power », National Science Foundation, Energy Research and Development Administration, Environmental Quality Laboratory, California Institute of Technology, Pasadena.

MOSS, N. (1981), *The Politics of Uranium*, New York, Universe Books.

MURRAY, A. J., ed. (1975), « American energy in perspective », Proceedings of the 16th Annual University of Windsor Seminar on Canadian-American Relations, les 14 et 15 novembre 1974, Windsor, Université de Windsor.

NASTICH, M. (1981), « Cost advantages of nuclear energy in Ontario », *The Canadian Business Review*, vol. 8, hiver.

NELLIS, R. E. (1983), « Allocating nuclear power plant costs over time », *Public Utilities Fortnightly*, vol. 112, septembre, pp. 22-27.

NELSON, R. R., M. J. PECK et E. D. KALACHEK (1967), *Technology, Economic Growth and Public Policy*, a Rand Corporation and Brookings Institution Study, Washington (D.C.), The Brookings Institution.

NELSON, R. R. et S. G. WINTER (1982), *An Evolutionary Theory of Economic Change*, Cambridge (Mass.), The Belknap Press of Harvard University Press.

NEW SCIENTIST (1982), « American fast breeder faces a sterile future », le 30 septembre, p. 895.

NOBLE, J. J. (1978), « Le Canada à la recherche de garanties nucléaires », *Perspectives internationales*, juillet-août, pp. 26-31.

NORDHAUS, W. D. (1977), « What is the value of advanced nuclear power? », Discussion Paper 449, Cowles Foundation for Research in Economics at Yale University, New Haven (Connecticut).

NUCLEAR ENGINEERING INTERNATIONAL (1966), « Heavy water: Special issue », juin, pp. 11 et 12.

______ (1979), « Future dubious for CANDU exports », septembre, p. 5.

______ (1981), « Framatome 600-MWE nuclear island for export markets », vol. 26, printemps, pp. 33-39.

______ (1981), « Canada's nuclear future stands on exports », vol. 26, juillet, pp. 11 et 12.

______ (1983), « Point Lepreau goes independent? », mai, pp. 12-13.

______ (1983), « Ontario Hydro diversifies into tritum », juin, pp. 32-33.

______ (1983), « Developing reactor designs for the 1990's », juin, pp. 46-47.

______ (1983), « Canada looks for exports », août, p. 4.

______ (1983), « Attention focusses on Pickering rupture », octobre, pp. 9-10.

______ (1983), « Small CANDU is designed for export », novembre, p. 10.

______ (1983), « Maritime lays plans for Point Lepreau 2 », novembre, p. 12.

______ (1983), « Pickering shut down for tube test », décembre, p. 13.

NUCLEAR NEWS (1983), « World list of nuclear power plants, operable, under construction, or on order (3 MWe and over) as of December 31, 1982 », vol. 26, février, pp. 71-90.

O'DELL, P. R. et K. E. ROSING (1983), *The Future of Oil*, Londres, Kogan Page Publishers.

OHASHI, T. M. et T. P. ROTH (1980), *Privatization Theory and Practice* (Distributing Shares in Private and Public Enterprises), Cases: BCRIC, Petro-Canada, ESOPs, GSOPs, Vancouver (C.-B.), The Fraser Institute.

OILWEEK (1984), « Quadrupling of energy production costs predicted », le 23 juillet, p. 8.

O'LEARY, B. (1975), « R&D: The thin edge of the wedge », *Bulletin of the Atomic Scientists*, octobre, pp. 9-14.

OLSON, M. C. (1976), *Unacceptable Risk: The Nuclear Power Controversy*, New York, Bantam Books.

ORGANISATION DE COOPÉRATION ET DE DÉVELOPEMENT ÉCONOMIQUES [OCDE] (1982), *Perspectives de l'énergie nucléaire jusqu'en l'an 2000*, rapport de l'Agence pour l'énergie nucléaire et de l'Agence internationale de l'énergie atomique, Paris, OCDE.

______ (1983*a*), « Activité de l'AEN en 1982 », onzième rapport d'activité de l'Agence pour l'énergie nucléaire, Paris, OCDE.

______ (1983*b*), « Législation nucléaire – Canada », Étude analytique, réglementation générale et cadre institutionnel des activités nucléaires, Agence pour l'énergie nucléaire, Paris, OCDE, pp. 37-52.

______ (1984), « Statistiques de l'énergie – Canada », Statistiques de l'énergie et séries historiques principales, Agence internationale de l'énergie atomique, Paris, OCDE, pp. 22 et 24.

______ (1985*a*), *Responsabilité civile nucléaire et l'assurance – Bilan et perspectives*, compte rendu du symposium de Munich, du 10 au 14 septembre 1984, organisé conjointement par l'Agence pour l'énergie nucléaire et l'Agence internationale de l'énergie atomique, Paris, OCDE.

_____ (1985*b*), *L'énergie nucléaire et l'opinion publique*, rapport du secrétariat de l'Agence pour l'énergie nucléaire, Paris, OCDE.

PALDA, K. S. (1984), *Industrial Innovation: Its Place in the Public Policy Agenda*, Vancouver, The Fraser Institute.

PAPPS, I. (1975), *Government and Enterprise*, Hobart Papers n° 61, Londres (Angleterre), Institute for Economic Affairs.

PATTERSON, W. C. (1976), *Nuclear Power*, Harmondsworth (Middlesex), Angleterre, Penguin Books.

PEACOCK, D. (1976), « La filière CANDU », *Perspectives internationales*, janvier-février, pp. 3-9.

PEARCE, F. (1982*a*), « Critical time for Sizewell's reactor », *New Scientist*, vol. 95, le 22 juillet, pp. 216-217.

_____ (1982*b*), « Nuclear watchdog warns of Sizewell hazards », *New Scientist*, vol. 95, le 15 juillet, p. 139.

PERRY, R., ed. (1977), *Development and Commercialization of the LWR, 1946-76*, Santa Monica (CA.), Rand Corporation.

PORTER, A. (1978), [président] « A race against time: Interim report on nuclear power in Ontario », rapport du président de la Commission royale sur la planification de l'énergie électrique, Toronto.

_____ (1980), *Report of the Royal Commission on Electric Power Planning: Concepts, Conclusions and Recommendations*, vol. 1, Toronto.

PORTER, M. (1982), *Choix stratégiques et concurrence, techniques d'analyse des secteurs et de la concurrence dans l'industrie*, Paris, Economica.

POSEY, C. (1984), « On the uranium trail », *The Atlantic*, juin, pp. 22-24 et 29-30.

POTTER, W. C. (1982), *Nuclear Power and Nonproliferation Technology and Economics of Nuclear Power*, Cambridge (Mass.), Oelgeschlager, Gunn and Hain Publishers.

PRICHARD, J. R. S., ed. (1983), *Crown Corporations in Canada*, Conseil économique de l'Ontario, Toronto, Butterworths.

PRYKE, R. (1971), *Public Enterprise and Practice*, Londres, MacGibbon and Kee.

PUBLIC UTILITIES FORTNIGHTLY (1984), « Administration articulates a new nuclear strategy », le 7 juin, pp. 39-40.

RAE, B. (1983), « Is free wheeling hydro insulated from reality? », *The Globe and Mail*, édition nationale, le 13 octobre, p. 7.

RAMO, S. (1980), *The Management of Innovative Technological Corporations*, New York, Toronto, John Wiley.

RIBICOFF, A. A. (1976), « A market-sharing approach to the world nuclear sales problem », *Foreign Affairs*, vol. 54, n° 4, pp. 763-787.

ROBERTSON, J. A. L. (1978), « The CANDU reactor system: An appropriate technology », *Science*, vol. 199, n° 4329, le 10 février, pp. 657-664.

_____ (1984), Mémoire du groupe de travail sur les politiques et les programmes fédéraux de développement technologique, le 14 mars, Ottawa, Société de recherche de l'EACL.

ROTH, E. B. (1984), « Review of the state and nuclear power: Conflict and control in the western world, by J. A. Camilleri », *Nature*, vol. 310, le 26 juillet, pp. 342-343.

RYLE, Sir Martin (1982), *Is There a Case for Nuclear Power?*, Londres, Mernard Press.

SASSOON, E. (1982), « Japanese policy for energy and raw materials », *International Review of Economics and Business*, vol. 29, décembre, pp. 1152-1168.

SAYLES, L. R. et M. K. CHANDLER (1971), *Managing Large Systems, Organizations for the Future*, New York, Harper & Row.

SHORROCK, T. (1982), « How the South Korean energy program has been saving the U.S. nuclear industry: U.S. taxpayers have paid, through Eximbank, $2.5 billion for Westinghouse sales », *Multinational Monitor*, vol. 3, mars, pp. 20-22.

SIMS, G. (1979), « The evolution of AECL », thèse de maîtrise (non publiée), Université Carleton, Ottawa.

_____ (1981), *Histoire de la Commission de contrôle de l'énergie atomique*, Ottawa, Approvisionnements et Services Canada.

SLIGL, V. R. (1982), Hydro-Ontario, « Cost comparison of a 4 by 500-MW coal-fueled and 4 850-MW CANDU nuclear generating stations », *American Nuclear Society Transactions*, vol. 41, supplément 1.

SMART, I., ed. (1982), *World Nuclear Energy: Toward a Crisis of Confidence*, The Royal Institute of International Affairs, Baltimore et Londres, The Johns Hopkins University Press.

SMITH, D. (1982), « A reactor designed for Sizewell », *New Scientist*, vol. 96, octobre, pp. 236-239.

SMITH, G. J. (1984), « Crown corporations and the marketing overseas of science and technology intensive goods and services: Brief observation on work in progress », non publié.

STEWART-PATTERSON, D. (1984), « Huge costs build up on AECL stockpile », *The Globe and Mail*, le 20 août.

SWEET, C. (1983), *The Price of Nuclear Power*, Londres (Angleterre), Heineman.

SWIFT, D. (1983), « Nuclear medicine: AECL's lifesavers get a great reaction in world markets », *Canadian Business*, vol. 56, mai, pp. 21-22.

TAVEL, C. (1975), *L'ère de la personnalité, essai sur la stratégie créatrice*, Paris, CNRS.

THE ECONOMIST (1977), « To breed or not to breed: Plutonium is the question », le 15 octobre, pp. 22-23.

______ (1978), « Windscale: Four million words later », vol. 267, le 11 mars, pp. 72-73.

______ (1980), « Nuclear reactors: French model », vol. 277, le 18 octobre, p. 116.

______ (1981), « France: Atomic amour », vol. 280, n° 7202, le 21 septembre, p. 50.

______(1982), « Westinghouse/Mitsubishi: Inbreeding », vol. 282, le 6 février, pp. 71-72.

______ (1982), « Getting rid of it », vol. 283, n° 7239, le 29 mai, pp. 93-94.

______ (1984), « Nuclear power: Exit problems », le 28 juillet, p. 29.

THE GLOBE AND MAIL (1984), « South Korea plans to keep nuclear work », le 31 août, cahier B, p. 4.

_____ (1984), « Westinghouse expects nuclear power revival », Report on Business, le 9 octobre.

TOOZE, S. (1982), « Modest advance (German nuclear power) », *Nature*, vol. 298, le 26 août, p. 793.

TREBILCOCK, M. J., D. G. HARTLE, J. R. S. PRICHARD et D. N. DEWEES (1982), *Le choix des instruments d'intervention*, étude préparée pour le Conseil économique du Canada, Ottawa, Approvisionnements et Services Canada.

TWISS, B. C. (1982), *Managing Technological Innovation*, 2e éd., Londres et New York, Longman Group Limited.

UNGER, H. (1982), « Nuclear power struggles: The real casualty of ideological warfare is the truth », rapport des États-Unis, *Canadian Business*, vol. 55, n° 6, juin, p. 37.

VERNON, J. M. (1971), *Nuclear Investment Planning in Civilian Nuclear Power*, Caroline du Nord, Duke University Press.

VERNON, R., ed. (1974), *Big Business and the State*, Cambridge (Mass.), Harvard University Press.

VERNON, R. et Y. AHARONI, ed. (1981), *State-Owned Enterprise in the Western Economies*, New York, St. Martin's Press.

WAKSTEIN, C. (1978), « The Windscale decision », *Political Quarterly*, vol. 49, juillet, pp. 357-362.

WALGATE, R. (1984), « Overpowered (French nuclear energy) », *Nature*, vol. 311, septembre, p. 7.

WALKER, W. et M. LONNROTH (1983), *Nuclear Power Struggles, Industrial Competition and Proliferation Control*, Londres, Allen and Unwin.

WEAVER, R. K. (1984), « Government enterprise in competitive markets », document préparé pour le Conseil économique du Canada, reprographié.

WEBB, K. (1980), « Why nuclear energy? And is it safe enough? », *Canadian Geographic*, vol. 100, n° 4, août-septembre, pp. 52-57.

WEINBERG, M. et I. SPIEWAK (1984), « Inherently safe reactors and a second nuclear era » *Science*, vol. 224, le 29 juin, pp. 1398-1402.

WHITE, R. E. (1984), « The strategic management of commercially-oriented crown-owned companies », University of Western Ontario, London, reprographié.

WILLIAMSON, O. E. (1985), *The Economic Institutions of Capitalism*, New York, The Free Press.

WILSON, R. (1984), « Loose talk about nuclear power », *The Atlantic*, août, pp. 104-109.

WINTER, R. K. (1978), *Government and the Corporation*, Washington, American Enterprise Institute for Public Policy Research.

WINTROBE, R. (1984), « Public and private bureaucracies », projet préliminaire, reprographié.

WONDER, E. F. et R. W. MORRISON (1970), « Canada's nuclear export policy », Norman Paterson School of International Affairs, Université Carleton, Ottawa.

WONG, S. W. C. (1980), « CANDU export: Opportunities and challenges for Canada », *Energy International*, vol. 17, février, pp. 11-12.

WOODWARD, J. (1965), *Industrial Organization*, New York, Oxford University Press.

WYMAN, I. (1985), « Failure at Seabrook could set off a chain reaction », *Business Week*, octobre, p. 42.

WYNNE, B. E. (1982), « Rationality and revival: The Windscale inquiry and nuclear decisions in Britain », British Society for the History of Science, St. Giles, U. K. Monographs.

YOUNG, W. H. (1984), « The saga of Clinch River », *Public Utilities Fortnightly*, le 2 août, pp. 11-20.

ZERBE, R. O., Jr., ed. (1980), *Research in Law and Economics: A Research Annual*, vol. 2, Greenwich (Connecticut), JAI Press Inc.

ZIMMERMAN, M. B. (1982), « Learning effects and the commercialization of new energy technologies: The case of nuclear power », *Bell Journal of Economics*, vol. 13, n° 2, automne, pp. 297-310.

ZUKER, R. C. et G. P. JENKINS (1984), *L'or liquide – Production hydro-électrique et rente économique*, Conseil économique du Canada, Ottawa, Approvisionnements et Services Canada.

Conseil économique
du Canada

Economic Council
of Canada